

**ANALISIS RISIKO KEGAGALAN PROSES PRODUKSI  
MENGUNAKAN METODE FUZZY *FAILURE MODES  
AND EFFECT ANALYSIS (FUZZY FMEA)* DAN *FAULT  
TREE ANALYSIS (FTA)*  
(STUDI KASUS DI PG. REJO AGUNG BARU- MADIUN)**

**SKRIPSI**

Oleh :  
**BINTI KHOIRIAH**  
**1351003001111109**



**JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**

**ANALISIS RISIKO KEGAGALAN PROSES PRODUKSI  
MENGUNAKAN METODE FUZZY *FAILURE MODES  
AND EFFECT ANALYSIS (FUZZY FMEA)* DAN *FAULT  
TREE ANALYSIS (FTA)*  
(STUDI KASUS DI PG. REJO AGUNG BARU- MADIUN)**

Oleh :  
**BINTI KHOIRIAH**  
**1351003001111109**

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Teknik**



**JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**

## LEMBAR PERSETUJUAN

Judul TA : Analisis Risiko Kegagalan Proses Produksi  
Menggunakan Metode *Fuzzy Failure Modes and Effect  
Analysis (Fuzzy FMEA)* dan *Fault Tree Analysis (FTA)*  
(Studi Kasus: PG. Rejo Agung Baru, Madiun)

Nama Mahasiswa : Binti Khoiriah

NIM : 135100301111109

Jurusan : Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama,



**Ir. Usman Effendi, MS**

NIP. 19620727 198701 1001

Pembimbing Kedua,



**Danang Triagus Setyawan, ST. MT.**

NIK. 201309 83081 1001

Tanggal Persetujuan:

15-3-2018

.....

Tanggal Persetujuan:

1-3-2018

.....

## LEMBAR PENGESAHAN

Judul TA : Analisis Risiko Kegagalan Proses Produksi  
Menggunakan Metode *Fuzzy Failure Modes and Effect Analysis (Fuzzy FMEA)* dan *Fault Tree Analysis (FTA)*  
(Studi Kasus: PG. Rejo Agung Baru, Madiun)


Nama Mahasiswa : Binti Khoiriah

NIM : 135100301111109

Jurusan : Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Dosen Penguji I,



**Mas'ud Effendi, STP. MP.**

NIP. 19800823 200501 1003

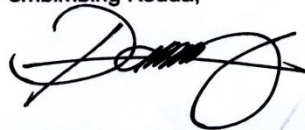
Pembimbing Pertama,



**Ir. Usman Effendi, MS**

NIP. 19620727 198701 1001

Pembimbing Kedua,



**Danang Triagus Setyawan, ST. MT.**

NIK. 201309 83081 1001



**Dr. Sucipto, STP. MP.**

NIP. 19730602 199903 1001

Tanggal Lulus TA:.....

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Binti Khoiriah, lahir di Madiun, 29 Januari 1995 dari Ayah bernama Karimun dan Ibu bernama Jaitun. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN Teguhan 03 dan lulus pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan di MTsN Bibrik atau MTsN 6 Madiun dan lulus pada tahun 2010, dilanjutkan ke SMAN 1 Jiwan-Madiun dan lulus pada tahun 2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Universitas Brawijaya melalui jalur regular (SNMPTN) jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian dan dinyatakan lulus pada tahun 2018.

Selama masa studinya, penulis pernah mengikuti organisasi dan kepanitian. Oranisasi yang diikuti salah satunya adalah di LKM Techno pada tahun 2015 dan pantia Techno Present. Selain itu penulis juga pernah menjadi panitia Dies Natalis FTP yang ke 17.

*Alhamdulillah rabbil'alamîn*

*Karya ini aku persembahkan untuk Bapak dan ibu yang telah bekerja keras, mendoakan dan mendukungku.*

*Semoga karya ini dapat bermanfaat.*

## PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Binti Khoiriah

NIM : 135100301111109

Jurusan : Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Judul Tugas Akhir : Analisis Risiko Kegagalan Proses  
Produksi Menggunakan Metode *Fuzzy  
Failure Modes and Effect Analysis*  
(*Fuzzy FMEA*) dan *Fault Tree Analysis*  
(FTA) (Studi Kasus: PG. Rejo Agung  
Baru-Madiun).

Menyatakan bahwa,

Tugas akhir dengan judul di atas merupakan karya asli penulis tersebut. Apabila dikemudian hari terbukti pernyataan inididak benar saya bersedia dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Malang, 11 Maret 2018

Pembuat Pernyataan,

Binti Khoiriah

repository.ub.ac.id

**Binti Khoiriah. 135100301111109. Analisis Risiko Kegagalan Proses Produksi Menggunakan Metode *Fuzzy Failure Modes and Effect Analysis (Fuzzy FMEA)* dan *Fault Tree Analysis (FTA)* (Studi Kasus: PG. Rejo Agung Baru-Madiun). Skripsi. Pembimbing: Ir. Usman Effendi, MS. dan Danang Triagus, S., ST, MT.**

---

## RINGKASAN

Gula mempunyai peranan penting dalam sistem pangan manusia sebagai penyedia rasa manis dan pemasok kalori bagi tubuh. Produksi gula pasir nasional pada tahun 2016 sebesar 2,72 juta ton, dimana konsumsi langsung rumah tangga sebesar 2,83 juta ton menunjukkan produksi gula nasional belum mampu memenuhi kebutuhan masyarakat. Oleh karena itu pemerintah mulai mengimpor gula yang menyebabkan kualitas gula nasional kurang mampu bersaing dengan gula impor. PG. Rejo Agung Baru merupakan salah satu perusahaan nasional yang memproduksi gula dengan kendala kualitas warna kristal gula belum memenuhi SNI dan hasil produksi gula tidak maksimal akibat kegagalan proses. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi risiko kegagalan dalam proses produksi gula dan akar penyebab timbulnya risiko tersebut.

Metode yang digunakan adalah *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *Fault Tree Analysis (FTA)*. Perhitungan metode FMEA menghasilkan FPRN tiga tertinggi yaitu risiko proses giling berhenti, proses pemisahan gula kristal dengan larutan stroop tidak efektif dan kualitas bahan baku tidak memenuhi standar. Analisis dengan FTA diketahui akar penyebab masalah yang paling potensial berdasarkan nilai RRW (*Risk Reduction Worth*) yaitu gangguan kelistrikan dan kurangnya penambahan air siraman pada saat proses pemutaran, posisi tebu menyilang dan minimnya sortasi bahan baku. Perbaikan yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pengawasan dan perawatan mesin sebelum dan selama untuk mengurangi terjadinya gangguan pada mesin produksi sehingga beban listrik menjadi lebih stabil, Melakukan pengawasan dan sanksi terhadap pekerja yang lalai dalam



menjalankan tugas selama proses produksi, membatasi kapasitas tebu yang masuk ke gilingan dalam sekali giling dan menerapkan sistem sortasi dan pengecekan bahan baku tebu sesuai kriteria MBS (matang, bersih dan segar).

**Kata Kunci:** *Fuzzy FMEA, FTA, Gula, Risiko kegagalan proses produksi.*

repository.ub.ac.id

**Binti Khoiriah. 135100301111109. *Risk Analysis of Production Process Failure using Fuzzy Failure Modes and Effect Analysis (Fuzzy FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) (Case Study: PG Rejo Agung Baru-Madiun).***  
**FA. Adviser: Ir. Usman Effendi, MS. and Danang Triagus, S., ST, MT.**

---

## **SUMMARY**

*Sugar has an important role in human food system as a provider of sweet taste and calorie suppliers for the body. National sugar production in 2016 was 2.72 million tons, of which 2.83 million tons of domestic direct consumption indicated that national sugar production has not been able to meet the needs of the community. Therefore, the government began to import sugar which causes the quality of national sugar less able to compete with imported sugar. PG. Rejo Agung Baru is one of the national companies that produce sugar with the quality constraints of sugar crystals have not met the SNI and the production of sugar is not maximal due to process failure. The purpose of this study was to identify risk of failure in the process of sugar production and root cause of the risks.*

*Method used is Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA). Calculation of FMEA method produces the highest FPRN of three is the risk of milling process stops, the process of separating sugar crystals with stroop solution is not effective and the quality of raw materials does not meet the standards. Analysis with FTA is known to be the root cause of the most potential problem based on RRW (Risk Reduction Worth) value that is electricity disturbance and lack of water spray during rotation process, crossing cane position and lack of raw material sorting. Repairs that can be done is to conduct supervision and maintenance of machinery before and during to reduce the occurrence of interference in the production machine so that the electrical load becomes more stable, Monitoring and sanctions against workers who neglect in carrying out tasks during the production process, limiting the*

*capacity of sugar cane into the mill in one milling and apply sorting system and checking sugarcane raw material according to MBS criteria (mature, clean and fresh).*

**Keywords:** *Fuzzy FMEA, FTA, Sugar, Risk of production process failure.*

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga dapat menyusun tugas akhir ini dengan judul “Analisis Risiko Kegagalan Proses Produksi dengan Menggunakan Metode *Fuzzy Failure Modes and Effect Analysis* (Fuzzy FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) (Studi Kasus: PG. Rejo Agung Baru, Madiun)”. Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian.

Pada kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Usman Effendi, MS. selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, arahan, ilmu dan pengetahuan kepada penyusun.
2. Bapak Danang Triagus Setyawan, ST, MT. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan, ilmu dan pengetahuan kepada penyusun.
3. Bapak Dr. Sucipto, S.TP, MP selaku ketua Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya
4. PG. Rejo Agung Baru yang telah memberikan kesempatan kepada penyusun untuk melakukan penelitian tugas akhir.
5. Keluarga dan teman-teman yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari adanya keterbatasan pengetahuan, referensi dan pengalaman dalam menyusun tugas akhir ini. Harapan penulis semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Malang, 25 Januari 2018.

Binti Khoiriah

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR</b>	
<b>PERSETUJUAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>v</b>
<b>PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xvii</b>
 <b>I. PENDAHULUAN.....</b>	 <b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Gula.....	5
2.2 Proses Produksi Gula.....	7
2.3 Manajemen Risiko.....	8
2.4 Kegagalan Proses Produksi.....	10
2.5 <i>Fuzzy Failure Modes and Effect Analysis</i> .....	11
2.5.1 Logika <i>Fuzzy</i> .....	11
2.5.2 Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	13
2.5.3 <i>Failure Modes and Effect Analysis</i> (FMEA).....	13
2.6 <i>Fault Tree Anaysis</i> (FTA).....	16
2.7 Aljabar Boolean.....	18
2.8 Penelitian Terdahulu.....	20
<b>III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>24</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	24

3.2 Batasan Masalah.....	24
3.3 Prosedur Penelitian.....	24
3.3.1 <i>Survey</i> Pendahuluan.....	26
3.3.2 Studi Literatur.....	26
3.3.3 Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	26
3.3.4 Penentuan Tujuan Penelitian.....	26
3.3.5 Metode Pengumpulan dan Sumber Data.....	27
3.3.6 Penentuan Responden.....	28
3.3.7 Identifikasi Variabel.....	28
3.3.8 Brainstorming dan Penyusunan Kuesioner.....	31
3.3.9 Uji Validitas.....	31
3.3.10 Analisis Data.....	32
3.3.11 Kesimpulan dan Saran.....	41
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>42</b>
4.1 Gambaran Umum.....	42
4.2 Proses Produksi Gula.....	43
4.2.1 Stasiun Penggilingan.....	43
4.2.2 Stasiun Pemurnian.....	44
4.2.3 Stasiun Penguapan.....	45
4.2.4 Stasiun Masakan.....	45
4.2.5 Stasiun Putaran.....	47
4.2.6 Stasiun Penyelesaian.....	48
4.3 Karakteristik Responden.....	48
4.4 Identifikasi Risiko Kegagalan Proses Produksi Gula.....	49
4.6 Hasil Analis Metode <i>Fuzzy FMEA</i> .....	53
4.6.1 Penentuan Bobot <i>Saverity</i> , <i>Occurance</i> dan <i>Detection</i> .....	53
4.6.2 Perhitungan Agregasi <i>Fuzzy Rating</i> .....	55
4.6.3 Perhitungan Bobot Kepentingan.....	63
4.6.4 Perhitungan <i>Fuzzy Risk Priyority Number</i> (FRPN).....	65
4.7 Analisis Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	67
4.8 <i>Risk Response Planning</i> .....	84
<b>V. PENUTUP.....</b>	<b>84</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>88</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	<i>Risk Response Planning</i> .....	6
<b>Tabel 2.2</b>	Simbol-Simbol <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	17
<b>Tabel 2.3</b>	Hukum Aljabar Boolean.....	19
<b>Tabel 3.1</b>	Data Primer dan Data Sekunder.....	27
<b>Tabel 3.2</b>	Risiko Kegagalan Proses Produksi.....	29
<b>Tabel 3.3</b>	<i>Fuzzy Rating</i> untuk <i>Severity</i> .....	33
<b>Tabel 3.4</b>	<i>Fuzzy Rating</i> untuk <i>Occurrence</i> .....	34
<b>Tabel 3.5</b>	<i>Fuzzy Rating</i> untuk <i>Detection</i> .....	34
<b>Tabel 3.6</b>	<i>Fuzzy Weight</i> Faktor-Faktor Risiko.....	35
<b>Tabel 4.1</b>	Risiko Kegagalan Proses Produksi.....	50
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Kuisioner Penilaian.....	54
<b>Tabel 4.3</b>	Nilai agregasi <i>fuzzy rating severity</i> .....	56
<b>Tabel 4.4</b>	Nilai agregasi <i>fuzzy rating Occurrence</i> .....	58
<b>Tabel 4.5</b>	Nilai agregasi <i>fuzzy rating Detection</i> .....	61
<b>Tabel 4.6</b>	Perhitungan <i>Fuzzy Bobot</i> Kepentingan Faktor....	64
<b>Tabel 4.7</b>	Nilai <i>Fuzzy Risk Priority Number</i> (FRPN) .....	66
<b>Tabel 4.8</b>	Probabilitas Risiko Proses Penggilingan Berhenti.....	72
<b>Tabel 4.9</b>	Probabilitas Risiko Pemisahan gula kristal dari larutan stroop tidak efektif.....	76
<b>Tabel 4.10</b>	Probabilitas Risiko Kualitas Bahan Baku tidak memenuhi standar.....	79
<b>Tabel 4.11</b>	Nilai <i>Risk Reduction Worth</i> keseluruhan.....	82

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3.1</b>	Prosedur Penelitian.....	25
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	38
<b>Gambar 4.1</b>	FTA Proses Giling Berhenti.....	69
<b>Gambar 4.2</b>	FTA Pemisahan gula Kristal dari larutan stroop tidak efektif.....	75
<b>Gambar 4.3</b>	FTA Kualitas Bahan Baku tidak Memenuhi Standar.....	78



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Kuisioner.....	98
<b>Lampiran 2.</b> <i>Flow sheet</i> Diagram Proses Produksi Gula....	106
<b>Lampiran 3.</b> Perhitungan Agregasi <i>Fuzzy</i> FMEA.....	109
<b>Lampiran 4.</b> Perhitungan <i>Fuzzy Weight</i> .....	110
<b>Lampiran 5.</b> Data Kegagalan Proses Produksi Gula.....	113

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tebu merupakan bahan baku gula yang jumlahnya cukup melimpah dengan total luas areal tebu pada tahun 2016 sekitar 482.239 ha yang terdiri dari perkebunan besar negara, swasta dan perkebunan rakyat. Gula tidak hanya dikonsumsi oleh rumah tangga konsumsi melainkan juga rumah tangga produsen khususnya pabrik yang mempergunakan bahan baku gula seperti, pabrik-pabrik pembuat bahan makanan (untuk membuat kecap, permen, coklat, sirup). Adanya kebijakan impor gula menyebabkan pertumbuhan industri gula nasional semakin terhambat. Hal ini dapat dilihat dengan anjloknya harga gula nasional di pasaran akibat melimpahnya jumlah gula impor. Harga gula rafinasi impor dijual pada kisaran Rp 8.000-an hingga Rp 9.000-an per kg atau lebih murah dari harga gula non industri yang paling murah seharga Rp 10.000,00 per kg (Ernawati dan Erma, 2013). Oleh sebab itu produsen gula dalam negeri harus mampu meningkatkan kualitas dan kuantitas produknya sehingga harga gula nasional lebih stabil dan kebutuhan gula masyarakat Indonesia dapat terpenuhi.

PG. Rejo Agung Baru merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang agroindustri yang terletak di kota Madiun, Jawa Timur. Permasalahan yang dihadapi oleh PG. Rejo Agung Baru adalah kualitas warna kristal gula belum memenuhi SNI dan jumlah gula yang dihasilkan kurang maksimal. Permasalahan tersebut merupakan bentuk dari kegagalan proses yang terjadi di PG. Rejo Agung Baru. Kegagalan proses merupakan suatu kondisi yang tidak ideal dari sebuah pemberian manfaat terhadap suatu obyek karena peristiwa tertentu (Suhartini dan Ziko, 2013). Perusahaan harus mampu mengendalikan risiko-risiko yang mungkin timbul agar produktifitas perusahaan dapat ditingkatkan. Risiko itu sendiri adalah potensi terjadinya suatu peristiwa baik yang dapat diperkirakan maupun yang tidak dapat diperkirakan yang dapat

menimbulkan dampak bagi pencapaian tujuan organisasi (Darmawi, 2006). Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui risiko kegagalan proses produksi dan akar penyebab timbulnya risiko tersebut.

Pengendalian risiko dapat dilakukan dengan manajemen risiko atau melakukan penilaian serta analisis terhadap risiko-risiko yang mungkin terjadi pada proses produksi. Pada ISO 31010 memuat daftar dan penjelasan tentang berbagai alat atau teknik penilaian risiko (*risk assessment*) yang dapat dipakai dalam manajemen risiko. Standar ini memuat 31 alat atau teknik penilaian risiko berikut anjuran penerapannya baik dalam identifikasi, analisis maupun evaluasi risiko diantaranya, *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA), *Root Cause Analysis* (RCA), *Fault Tree Analysis* (FTA), *Reliability Centred Maintenance*, *Marcov Analysis* dll. Penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu metode *Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi risiko *failure mode* dari tiap proses produksi di PG. Rejo Agung Baru dan efek dari *failure mode* tersebut. Sedangkan untuk mencari sumber penyebab dari risiko kegagalan yang terjadi digunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disusun, dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Risiko mana yang termasuk kategori kritis atau dominan dalam menyebabkan kegagalan proses produksi di PG Rejo Agung Baru?
2. Apa saja akar penyebab timbulnya risiko kegagalan pada proses produksi di PG Rejo Agung Baru?
3. Bagaimana perbaikan yang dapat diberikan pada PG Rejo Agung Baru untuk dapat mencegah terjadinya risiko kegagalan dalam proses produksi?

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengidentifikasi risiko kritis yang menyebabkan kegagalan pada proses produksi di PG Rejo Agung Baru.
2. Mengidentifikasi akar penyebab terjadinya risiko kegagalan pada proses produksi di PG Rejo Agung Baru.
3. Memberikan rekomendasi perbaikan pada proses produksi di PG Rejo Agung Baru.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini, diharapkan memberikan manfaat bagi:

1. Bagi perusahaan:

Penelitian ini diharapkan agar perusahaan mampu mengetahui tingkat risiko kegagalan dalam proses produksi sehingga dapat dilakukan perbaikan. Penelitian dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan oleh perusahaan untuk mengatasi konsekuensi negatif yang terjadi akibat adanya risiko kegagalan dalam proses produksi. Perusahaan dapat mempertahankan kualitas produknya dengan baik.

2. Bagi Peneliti:

Penelitian ini diharapkan agar peneliti mampu mengetahui dan memecahkan masalah terkait risiko terjadi dalam proses produksi di PG Rejo Agung Baru. Selain itu bagi peneliti lain dapat dijadikan bahan referensi dalam penelitiannya serta dapat dijadikan acuan untuk penelitian lanjutan.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2017 hingga bulan September 2017 di PG. Rejo Agung Baru yang berlokasi di Jalan Yos Sudarso No. 23, Madiun, Jawa Timur, Indonesia. Penelitian dilakukan hingga selesai dan didapatkan hasil data yang cukup untuk kemudian dianalisis. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Manajemen Agroindustri, Jurusan Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

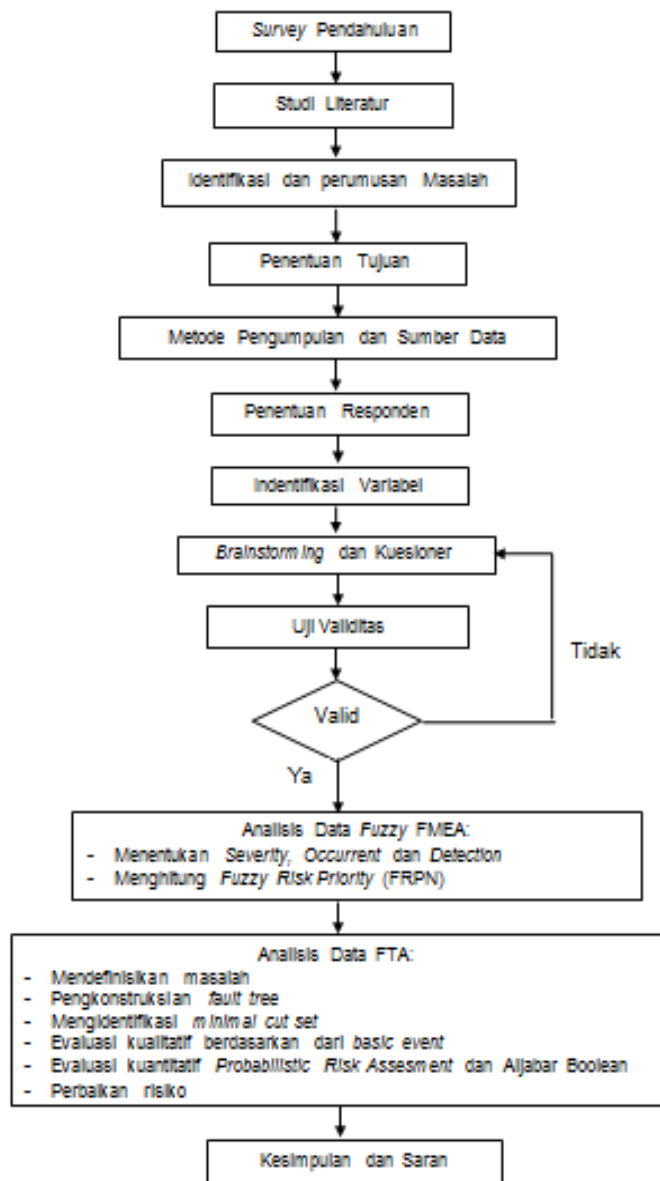
#### 3.2 Batasan Masalah

Penentuan batasan masalah dilakukan agar lingkup pembahasan masalah lebih fokus pada tujuan penelitian, sehingga diharapkan hasil penelitian lebih akurat dan dapat dipertanggung jawabkan. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak melibatkan analisis biaya
2. Objek penelitian difokuskan pada proses produksi
3. Penyebab kegagalan produk cacat hanya akan ditinjau dari aspek material, manusia, mesin, metode dan lingkungan.

#### 3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan oleh peneliti untuk mengumpulkan data dan fakta yang terkait dengan penelitian yang sedang dilakukan secara sistemis. Tahapan atau prosedur dalam penelitian ini akan dijadikan acuan dalam pengambilan data di PG. Rejo Agung Baru serta prosedur pembahasan data. Adapun tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.1.**



**Gambar 3. 1** Prosedur Penelitian

### 3.3.1 Survey Pendahuluan

Survey pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kondisi perusahaan yang sebenarnya yaitu PG. Rejo Agung Baru dengan melakukan pengamatan lingkungan perusahaan secara langsung. Survey pendahuluan dapat dilakukan dengan wawancara pihak terkait yang mengetahui permasalahan yang ada di perusahaan, seperti *general manager*, bagian fabrikasi dan *quality control*. Survey pendahuluan ini akan mempermudah peneliti untuk mengambil tema penelitian yang sesuai dengan kebutuhan perusahaan.

### 3.3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk menghimpun data-data atau sumber-sumber yang berhubungan dengan topik penelitian yaitu tentang analisis risiko kegagalan proses produksi. Sumber studi literatur didapatkan dari jurnal, buku, internet dan pustaka yang berhubungan dengan analisis risiko, kegagalan proses, metode *Fuzzy FMEA* dan *FTA*.

### 3.3.3 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Identifikasi masalah yang dilakukan di PG. Rejo Agung Baru bertujuan untuk mengetahui sejumlah masalah yang berhubungan dengan judul penelitian sehingga dapat diberikan solusi sesuai dengan permasalahan tersebut. Setelah masalah yang ada di PG. Rejo Agung Baru teridentifikasi, maka dapat dilakukan perumusan masalah. Rumusan masalah yang disusun untuk penelitian ini adalah risiko apa yang paling dominan yang menyebabkan kegagalan pada proses produksi, penyebab yang menyebabkan risiko tersebut terjadi, dan perbaikan seperti apa yang dapat direkomendasikan terhadap risiko tersebut sehingga performa proses produksi dapat ditingkatkan.

### 3.3.4 Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dilakukan di PG. Rejo Agung Baru yaitu menganalisis risiko yang paling dominan menyebabkan kegagalan proses produksi. Tujuan selanjutnya

adalah mengidentifikasi penyebab dari timbulnya risiko kegagalan proses produksi. Jika penyebab dari timbulnya risiko kegagalan proses produksi sudah ditemukan, tujuan selanjutnya adalah menentukan perbaikan yang sesuai terhadap permasalahan tersebut.

### 3.3.5 Metode Pengumpulan dan Sumber Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian adalah dari data primer dan data sekunder. Dimana data primer dan sekunder yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3. 1** Data Primer dan Data Sekunder

Jenis Data	Metode Pengumpulan Data	Hasil
Primer	Wawancara	- Hasil tanya jawab dengan pakar seputar kondisi perusahaan berupa permasalahan yang sebenarnya terjadi di PG. Rejo Agung Baru.
	Observasi	- Data kondisi atau keadaan lapang yang sebenarnya
	Kuisisioner	- Data risiko yang dominan terjadi pada proses produksi di PG. Rejo Agung Baru.
	Dokumentasi	- Data jenis mesin yang bekerja saat proses produksi, - Data produksi 2 tahun terakhir, - Data cacat produk dan kegagalan - Diagram alir proses produksi gula,
Sekunder	Studi pustaka.	- Literatur dari jurnal dan buku, penelitian terdahulu

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.



### 3.3.6 Penentuan Responden

Data hasil penelitian tentang risiko kegagalan yang dominan terjadi pada proses produksi, penyebab timbulnya risiko kegagalan dan data-data tertulis lainnya didapatkan dari hasil pengisian kuisioner dan wawancara dari para ahli yang ada di PG. Rejo Agung Baru. Pakar yang akan dijadikan responden merupakan orang yang mengetahui kondisi sebenarnya yang ada di perusahaan, dimana pakar yang digunakan sebanyak 3 orang yaitu 1 orang bagian fabrikasi, 1 orang bagian instalasi dan 1 orang bagian *quality control*. Apabila hasil kuisioner ketiga responden belum mewakili atau belum sepenuhnya menjawab kebutuhan data untuk penelitian, maka akan dilakukan pengisian kuisioner untuk orang atau pihak yang lebih mampu menjawab kebutuhan data penelitian ini.

### 3.3.7 Identifikasi Variabel

Identifikasi variabel dilakukan untuk menentukan variabel yang digunakan dalam penelitian dan sebagai acuan penyusunan kuisioner. Adanya variabel dapat mempermudah peneliti agar penelitian lebih fokus. Fokus penelitian ini adalah proses produksi dengan variabel yang digunakan antara lain, bahan baku, mesin, tenaga kerja (tenaga kerja langsung). Kemungkinan risiko yang dapat terjadi dari masing-masing variabel dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

**Tabel 3. 2** Kemungkinan Risiko Kegagalan Proses Produksi

Variabel	Jenis Risiko Kegagalan	Sumber
Bahan Baku	- Kualitas tebu tidak memenuhi standar	PG. Rejo Agung Baru (2017).
	- Stok tebu habis	Kristyanto dkk (2016).
	- Keterlambatan bahan baku tebu	Kristyanto dkk (2016).
Tenaga Kerja	- Cidera atau Kecelakaan kerja	Kristyanto dkk (2016).
	- Absennya karyawan	Kristyanto dkk (2016).
	- Kinerja karyawan rendah	Kristyanto dkk (2016).
Mesin	- Kerusakan mesin penggerak gilingan ( <i>gearbox</i> )	PG. Rejo Agung Baru (2017).
	- <i>Cane cutter</i> berkarat	Kristyanto dkk (2016).
	- Pan masakan bocor	Kristyanto dkk (2016).
	- Pipa-pipa penyaluran nira bocor	Kristyanto dkk (2016).
	- Kemacetan <i>vibrating screen</i>	Kristyanto dkk (2016).
	- Mesin penjahit kemasan rusak	Ratmanto (2008).
Proses	<b>Stasiun gilingan</b>	
	- Proses penggiling berhenti	PG. Rejo Agung Baru (2017).
	- Terjadi kehilangan gula atau sakarosa	Ratmanto (2008).
	- Proses pemerahan nira tidak maksimal	Ratmanto (2008).
	<b>Stasiun Pemurnian</b>	
	- Nira tumpah atau luber	Ratmanto (2008).
	- Proses pengendapan kotoran nira melambat	Ratmanto (2008).

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

**Tabel 3.2** Kemungkinan Risiko Kegagalan Proses Produksi (Lanjutan)

Variabel	Jenis Risiko Kegagalan	Sumber
Proses	<b>Stasiun Penguapan</b>	
	- Proses pengentalan nira tidak efektif (nira masih encer)	Ratmanto (2008).
	- Terjadi kerusakan gula	Ratmanto (2008).
	- Terdapat kotoran dalam nira yang dimasak	Kristyanto dkk (2016).
	- Suhu <i>vacum</i> atau pan tidak tercapai ( $<60^{\circ}\text{C}$ ).	PG. Rejo Agung Baru (2017).
	<b>Stasiun Kristalisasi atau Masakan</b>	
	- Proses kristalisasi melambat dan tidak efektif	PG. Rejo Agung Baru (2017).
	- Penambahan bibit Kristal tidak sesuai	Kristyanto dkk (2016).
	<b>Stasiun Puteran</b>	
	- Proses penyaringan dengan <i>centrifuge</i> berhenti	Ratmanto (2008).
	- Pemisahan gula Kristal dari larutan <i>struup</i> tidak efektif.	PG. Rejo Agung Baru (2017).
	<b>Stasiun Penyelesaian dan Pengemasan</b>	
	- Proses pengeringan gula melambat	Ratmanto (2008).
	- Gula berwarna kecoklatan/tidak putih bersih	PG. Rejo Agung Baru (2017).
	- Kemasan bocor/rusak.	PG. Rejo Agung Baru (2017).
	- Berat gula dalam kemasan tidak sesuai standar ukuran kemasan	Kristyanto dkk (2016).
Lingkungan	- Udara area proses produksi panas dan berdebu	Fahrul (2010).
	- Area proses produksi bising	Fahrul (2010).

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

### 3.3.8 *Brainstorming* dan Penyusunan Kuesioner

*Brainstorming* dilakukan sebelum kuisisioner disusun dengan cara melakukan diskusi dengan pakar atau pihak perusahaan yang terkait dengan penelitian. *Brainstorming* dilakukan agar kuisisioner yang disusun sesuai dengan kenyataan yang ada di PG. Rejo Agung Baru. Tujuan pembentukan kuisisioner adalah sebagai alat memperoleh data yang sesuai dengan tujuan penelitian dan penjabaran dari hipotesis. Kuisisioner yang disusun terdiri dari dua bagian, yaitu tahap identifikasi risiko kegagalan pada proses produksi gula di PG. Rejo Agung Baru dan tahap penentuan bobot risiko untuk kemudian diolah dengan metode *Fuzzy FMEA*. Adapun kuisisioner yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Lampiran 1**. Bobot nilai yang digunakan pada kuisisioner berdasarkan faktor *Severity*, *Occurrence* dan *Detection*. Dimana kuisisioner ini ditujukan untuk kedua pakar yang telah ditentukan sebelumnya di PG. Rejo Agung Baru, yaitu bagian fabrikasi bapak Gatot dan bapak Dodik serta bagian *quality control* bapak Nur Cahyadi.

### 3.3.9 Uji Validitas

Uji validitas yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan *face validity*. Jenis validitas ini digunakan karena responden pada penelitian ini adalah pakar atau ahli yang sudah memahami topik penelitian. Validitas tampilan (*face validity*) dilakukan dengan melihat hasil kuisisioner pakar dan membandingkan jawaban pakar tersebut. Apabila terdapat perbedaan antara hasil kuisisioner dan pendapat pakar yang terlalu mencolok, maka akan dikonfirmasi terlebih dahulu terkait alasan yang berbeda tersebut. Validitas ini juga dilakukan berdasarkan pada kompetensi atau lama bekerja dari responden pakar dalam mengisi kuisisioner. Jika data yang didapatkan masih tidak valid maka akan dilakukan penyebaran kuisisioner ulang.

### 3.3.10 Analisis Data

Tahap pengolahan data dilakukan dengan menganalisis hasil data primer dan sekunder, terutama data dari kuesioner. Analisis data dilakukan dengan metode *Fuzzy FMEA* dan *FTA*. Dimana tahapan dari metode *Fuzzy FMEA* adalah sebagai berikut:

#### 1. Identifikasi Risiko

Langkah awal yang dilakukan dalam menganalisis suatu risiko proses produksi, yaitu mengidentifikasi risiko yang timbul dari faktor material, mesin, manusia, dan metode (proses) dengan melakukan wawancara. Wawancara tersebut dilakukan pada pakar yang mengetahui masalah terkait penelitian. Pada penelitian ini risiko dari masing-masing faktor atau variabel dalam penelitian ini diidentifikasi untuk selanjutnya dilakukan penilaian terhadap risiko tersebut.

#### 2. Penentuan Prioritas Pengendalian Risiko dengan Metode *Fuzzy FMEA*

Kuisisioner yang diisi oleh para pakar dalam penelitian ini bertujuan untuk menghitung pembobotan pada *FMEA*. Data kuisisioner akan memuat bobot dari *Saverity*, *Occurance* dan *Detection* dari risiko kegagalan proses produksi di PG. Rejo Agung Baru. Kemudian faktor-faktor *Saverity*, *Occurance* dan *Detection* dievaluasi dengan *fuzzy number* dan faktor-faktor tersebut dibobotkan dengan menggunakan *fuzzy weight*. Pada penelitian ini skala pembobotan pada *Saverity*, *Occurance* dan *Detection* dapat dilihat pada **Tabel 3.3**, **Tabel 3.4**, dan **Tabel 3.5** serta tabel *fuzzy weight* dapat dilihat pada **Tabel 3.6**.

**Tabel 3. 3 Fuzzy Rating untuk Severity**

<b>Rating</b>	<b>Effect</b>	<b>Severity Effect</b>	<b>Fuzzy Number</b>
1	<i>None (N)</i>	Tidak ada pengaruh.	(1, 1, 2)
2	<i>Very Minor (VMR)</i>	Sistem dapat beroperasi dengan sedikit gangguan.	(1, 2, 3)
3	<i>Minor (MR)</i>	Sistem dapat beroperasi dengan kinerja mengalami beberapa penurunan.	(2, 3, 4)
4	<i>Very Low (VL)</i>	Sistem dapat beroperasi dengan kinerja mengalami penurunan secara signifikan.	(3, 4, 5)
5	<i>Low (L)</i>	Sistem tidak dapat beroperasi tanpa kerusakan.	(4, 5, 6)
6	<i>Moderate (M)</i>	Sistem tidak dapat beroperasi dengan kerusakan kecil	(5, 6, 7)
7	<i>High (H)</i>	Sistem tidak dapat beroperasi dengan kerusakan peralatan.	(6, 7, 8)
8	<i>Very High (VH)</i>	Sistem tidak dapat beroperasi dengan kegagalan menyebabkan kerusakan tanpa membahayakan keselamatan	(7, 8, 9)
9	<i>Hazardous with warning (HWW)</i>	Tingkat keparahan sangat tinggi ketika mode kegagalan potensial mempengaruhi system safety dengan peringatan	(8, 9, 10)
10	<i>Hazardous without warning (HWOW)</i>	Tingkat keparahan sangat tinggi ketika mode kegagalan potensial mempengaruhi sistem safety tanpa peringatan	(9, 10, 10)

Sumber: Wang, *et al.*, (2009).

**Tabel 3. 4 Fuzzy Rating untuk Occurence**

<b>Ratin g</b>	<b>Probability of Occurrence</b>	<b>Probabilitas Kegagalan</b>	<b>Fuzzy Number</b>
1	Low (L): relatif sedikit kegagalan	1 dalam 1500000	(1, 1, 2)
2		1 dalam 150000	(1, 2, 3)
3		1 dalam 15000	(2, 3, 4)
4	Moderate (M): sesekali kegagalan	1 dalam 2000	(3, 4, 5)
5		1 dalam 400	(4, 5, 6)
6		1 dalam 80	(5, 6, 7)
7	High (H): kegagalan berulang	1 dalam 20	(6, 7, 8)
8		1 dalam 8	(7, 8, 9)
9		1 dalam 3	(8, 9, 10)
10	Very High (VH): kegagalan hampir tidak bisa dihindari	>1 dalam 2	(9, 10, 10)

Sumber: Wang *et al.*, (2009).

**Tabel 3. 5 Fuzzy Rating untuk Detection**

<b>Rating</b>	<b>Detection</b>	<b>Kemungkinan Deteksi oleh Alat Pengontrol</b>	<b>Fuzzy Number</b>
1	Almost Certain (AC)	Hampir pasti kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(1, 1, 2)
2	Very High (VH)	Sangat tinggi kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(1, 2, 3)
3	High (H)	Tinggi kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya	(2, 3, 4)
4	Moderately High (MH)	Sangat sedang kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya	(3, 4, 5)
5	Moderate (M)	Sedang kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya	(4, 5, 6)

Sumber: Wang *et al.*, (2009).

**Tabel 3. 6 Fuzzy Rating untuk Detection (Lanjutan)**

<b>Rating</b>	<b>Detection</b>	<b>Kemungkinan Deteksi oleh Alat Pengontrol</b>	<b>Fuzzy Number</b>
6	<i>Low (L)</i>	Rendah kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya	(5, 6, 7)
7	<i>Very Low (VL)</i>	Sangat rendah kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(6, 7, 8)
8	<i>Remote (R)</i>	Kecil kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya	(7, 8, 9)
9	<i>Very Remote (VR)</i>	Sangat kecil kemampuan alat pengontrol mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(8, 9, 10)
10	<i>Absolute Uncertainty (AU)</i>	Tidak ada alat pengontrol yang mampu mendeteksi penyebab kegagalan dan modus kegagalan berikutnya.	(9, 10, 10)

Sumber: Wang *et al.*, (2009).

**Tabel 3. 7. Fuzzy Weight Faktor-Faktor Risiko**

<b>Istilah Linguistik</b>	<b>Fuzzy Weight</b>
<i>Very Low (VL)</i>	(0; 0; 0,25)
<i>Low (L)</i>	(0; 0,25; 0,5)
<i>Medium (M)</i>	(0,25; 0,5; 0,75)
<i>High (H)</i>	(0,5; 0,75; 1)
<i>Very High (VH)</i>	(0,75; 1; 1)

Sumber: Wang *et al.*, (2009).

Kemudian dengan mengacu pada (Wang *et al.*, 2009) untuk melakukan penilaian faktor-faktor *failure mode* pada FMEA dalam bentuk *fuzzy*, maka dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- Setelah menentukan nilai O, S, dan D berdasarkan **Tabel 3.3, Tabel 3.4, Tabel 3.5, dan Tabel 3.6,**



selanjutnya melakukan perhitungan agregasi penilaian peringkat *fuzzy* terhadap faktor O, S, dan D berdasarkan persamaan (1) hingga persamaan (3).

$$\tilde{R}_i^O = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ij}^O = \left( \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ijL}^O, \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ijM}^O, \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ijU}^O \right) \dots\dots\dots(1)$$

$$\tilde{R}_i^S = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ij}^S = \left( \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ijL}^S, \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ijM}^S, \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ijU}^S \right) \dots\dots\dots(2)$$

$$\tilde{R}_i^D = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ij}^D = \left( \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ijL}^D, \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ijM}^D, \sum_{j=1}^m h_j \tilde{R}_{ijU}^D \right) \dots\dots\dots(3)$$

Dimana  $\tilde{R}_i^O = (R_{iL}^O, R_{iM}^O, R_{iU}^O)$ ,  $\tilde{R}_i^S = (R_{iL}^S, R_{iM}^S, R_{iU}^S)$ ,  
 $\tilde{R}_i^D = (R_{iL}^D, R_{iM}^D, R_{iU}^D)$  merupakan nilai agregat dari kejadian, dampak dan deteksi yang berpotensi memiliki risiko dalam rantai pasok atau biasa disebut dengan *failure mode* (FM).

- b. Melakukan perhitungan agregasi bobot kepentingan untuk faktor O, S, dan D berdasarkan Persamaan (4) hingga Persamaan (6).

$$\tilde{w}^O = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_j^O = \left( \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_{jL}^O, \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_{jM}^O, \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_{jU}^O \right) \dots\dots\dots(4)$$

$$\tilde{w}^S = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_j^S = \left( \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_{jL}^S, \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_{jM}^S, \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_{jU}^S \right) \dots\dots\dots(5)$$

$$\tilde{w}^D = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_j^D = \left( \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_{jL}^D, \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_{jM}^D, \sum_{j=1}^m h_j \tilde{w}_{jU}^D \right) \dots\dots\dots(6)$$

Dimana,  $\tilde{w}^D = (w_L^D, w_M^D, w_U^D)$  merupakan nilai agregat dari bobot *fuzzy* untuk tiga risiko faktor yaitu kejadian (O), dampak (S) dan deteksi (D).

- c. Menentukan *fuzzy risk priority number* (FRPN) untuk setiap model *failure* (kegagalan) berdasarkan Persamaan (7).

$$FRPN = (RiS') \frac{wiS'}{wS'+wO'+wD'} \times (RiO') \frac{wiO'}{wS'+wO'+wD'} \times \\ (RiD') \frac{wiD'}{wS'+wO'+wD'} \dots \dots (7)$$

- d. Perankingan berdasarkan nilai FRPN, dimana tiga nilai FRPN terbesar merupakan ranking yang teratas dan akan dilakukan analisis FTA.

### 3. Penentuan Akar Penyebab Masalah dengan *Fault Tree Analysis* (FTA)

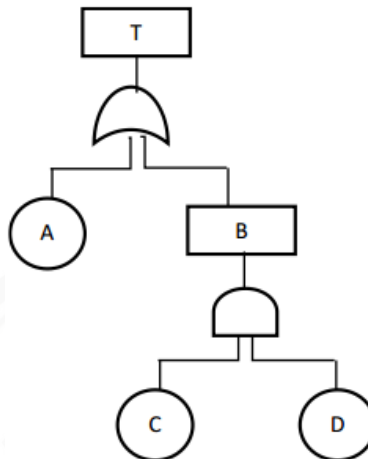
Berdasarkan identifikasi risiko *Fuzzy FMEA* di atas, dapat dilakukan identifikasi terhadap akar penyebab terjadinya risiko kegagalan proses produksi gula pada PG. Rejo Agung Baru dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Nilai FPRN tertinggi pada setiap variabel digunakan sebagai *Top Event* dalam analisis akar penyebab risiko (*basic event*) kegagalan proses produksi yang terjadi pada PG. Rejo Agung Baru. Menurut Aprilia (2016) hasil FRPN 3 teratas dari hasil metode *Fuzzy FMEA* merupakan risiko kritis yang dijadikan *top event*. Nilai kritis didapatkan dari jumlah seluruh nilai FRPN dibagi dengan jumlah indikator yang dinilai. Indikator risiko kritis dijadikan sebagai *top event* dan sub indikator sebagai *sub event* dan *basic event* yang ditentukan melalui *brainstorming* dengan para pakar di PG. Rejo Agung Baru. Adapun tahapan dalam penyusunan *Fault Tree Analysis* adalah sebagai berikut:

#### a. Mendefinisikan *problem* dan kondisi batas dari sistem

Tahap pertama dalam pendefinisian masalah pada *fault tree* kegagalan proses produksi gula PG. Rejo Agung Baru, yaitu mendefinisikan *critical event* (*top event*), kemudian mendefinisikan kondisi batas (*boundary condition*). Tujuan dari pendefinisian *critical event* (*top event*) agar penentuan *intermediate event* dan *basic event* lebih jelas dan mudah. Pendefinisian masalah ini harus sesuai dengan kondisi pada proses produksi di PG. Rejo Agung Baru.

### b. Pengkontruksian *Fault Tree*

Aturan yang digunakan dalam pengkontruksian *Fault Tree* antara lain adalah mendeskripsikan *fault event*. Masing-masing *basic event* harus didefinisikan secara teliti (apa, kapan dan dimana) dalam sebuah simbol *fault tree*. Kemudian mengevaluasi *fault event* dengan mengelompokkannya dalam kelompok; *primery failures*, *secondary failures* dan *command failure*, setelah itu melengkapi semua gerbang logika. Diagram *fault tree* yang digambarkan dengan simbol-simbolnya dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



**Gambar 3. 2** Diagram *Fault Tree Analysis* (FTA)  
Sumber: Modarres *et al.*, (1992).

Pada gambar diatas menyatakan bahwa kejadian *top event* T terjadi jika kejadian A terjadi atau kejadian B terjadi. Kejadian A merupakan *basic event* yang tidak diselidiki lagi penyebabnya, sedangkan kejadian B merupakan *intermediate event* dan terjadi jika kejadian C dan kejadian D terjadi secara bersamaan. Kejadian C dan D merupakan *basic event*.

**c. Mengidentifikasi minimal *Cut Set***

Pada penelitian ini sebuah *cut set* dapat dikatakan sebagai *basic event* yang bila terjadi secara simultan akan mengakibatkan terjadinya *top event*. *Cut set* diidentifikasi setelah konstruksi *fault tree* terselesaikan. *Minimal cut set* adalah kombinasi terkecil dari kegagalan kejadian dasar (*basic event*) yang kritis.

**d. Evaluasi kualitatif *Fault Tree***

Evaluasi kualitatif dari sebuah *fault tree* penelitian ini dapat dilakukan berdasarkan minimal *cut set*. Kekritisan dari sebuah *cut set* tergantung pada jumlah *basic event* di dalam *cut set* (*orde* dari *cut set*). Kekritisan dari berbagai *cut set* dapat dirangking berdasarkan dari *basic event* yaitu, *human error*, kegagalan komponen atau peralatan yang aktif (*active equipment failure*) dan kegagalan komponen atau peralatan yang pasif (*passive equipment failure*).

**e. Evaluasi kuantitatif *Fault Tree*.**

Evaluasi kuantitatif dilakukan untuk menafsirkan kemungkinan atau probabilitas dari kejadian yaitu risiko kegagalan dalam proses produksi gula di PG. Rejo Agung Baru. *Top event* direpresentasikan sebagai gabungan dari *minimal cut set*, sehingga probabilitas dari *top event* dapat ditaksirkan dengan penjumlahan dari probabilitas masing-masing *cut set*. Salah satu metode untuk menafsirkan probabilitas dari risiko adalah *Probabilistic Risk Assesment* (PRA). Probabilitas *basic event* tersebut dihitung berdasarkan frekuensi terjadinya suatu *event* yang dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut (Yusuf dkk, 2012):

$$\text{Probabilitas} = \frac{\text{frekuensi kegagalan}}{\text{frekuensi pemakaian}}$$

Jika sudah diketahui probabilitas kegagalan pada masing-masing *basic event*, dilakukan perhitungan probabilitas *top event* dan *intermediate event* dengan

menggunakan notasi Aljabar Boolean. Notasi untuk gerbang *OR* mempunyai simbol (+) dan untuk notasi gerbang *AND* mempunyai simbol (.). Rumus yang digunakan untuk *OR gate* dan *AND gate* adalah sebagai berikut (Rahman dkk, 2012):

$$P_F = P_A + P_B + \dots + P_N \dots\dots \text{OR gate}$$

$$P_F = P_A \times P_B \times \dots \times P_N \dots\dots \text{AND gate}$$

Dimana *P* adalah probabilitas peristiwa *failure* yang terjadi. Probabilitas suatu peristiwa merupakan harga numerik yang menunjukkan seberapa besar kemungkinan kegagalan yang terjadi dalam proses produksi di PG. Rejo Agung Baru. Nilai probabilitas berada pada 0 sampai 1. Indeks numerik 0 akan mendefinisikan suatu kejadian yang pasti tidak akan terjadi, sedangkan indeks numerik 1 akan mendefinisikan suatu kejadian yang pasti terjadi. Kejadian tersebut dibagi menjadi kejadian bebas, kejadian gabungan dan kejadian kondisional. Perhitungan dalam *Fault Tree Analisis* digunakan untuk mengetahui nilai probabilitas dari kejadian puncak yang terjadi. Untuk menghitung probabilitas hanya diperlukan jumlah seluruh proses yang sukses dan kegagalan proses produksi gula.

#### 4. Risk Respon Planning

*Fault Tree* dibuat untuk mengetahui akar penyebab timbulnya risiko kegagalan proses produksi di PG. Rejo Agung Baru, selanjutnya menyusun rekomendasi perbaikan terhadap risiko yang terjadi. Perbaikan risiko terhadap kegagalan proses produksi di PG. Rejo Agung Baru menggunakan *risk response planning* (RRP). *Risk Response Planning* dilakukan untuk meminimasi tingkat risiko yang dihadapi sampai pada batas yang dapat diterima. Respon dilakukan hanya pada risiko yang berkategori tinggi. Hal ini karena risiko tersebut mempunyai tingkat kejadian yang cukup besar dan juga dapat menimbulkan dampak yang besar pada perusahaan. Respon tersebut didapat dari *survey* disertai wawancara terakhir terhadap beberapa

responden. Teknik yang diterapkan untuk menangani risiko perusahaan antara lain sebagai berikut:

- a. Menghindari risiko, dengan tidak melakukan kegiatan yang dapat mendatangkan risiko atau merubah rencana untuk menghilangkan risiko kegagalan proses produksi gula.
- b. Reduksi risiko (mitigasi), dilakukan tindakan untuk mengurangi peluang terjadinya risiko kegagalan proses produksi gula.
- c. Menerima risiko, bila risiko kegagalan proses produksi gula yang diterima kecil atau sudah tidak ada cara lain untuk menangani risiko tersebut.
- d. Transfer risiko, dilakukan dengan mengalihkan salah satu risiko kegagalan proses produksi gula kepada pihak lain atau bagian lain yang memiliki risiko lebih rendah.

Strategi penghindaran dan mitigasi biasanya digunakan ketika terjadi risiko kritis dengan dampak tinggi atau menimbulkan kegagalan yang cukup serius, sementara transferensi dan penerimaan biasanya dilakukan ketika risiko yang terjadi kurang penting dan dengan dampak (kegagalan) secara keseluruhan yang rendah. Perbaikan yang diusulkan untuk menangani risiko kegagalan proses produksi di PG. Rejo Agung Baru akan disesuaikan dengan jenis risiko yang terjadi sehingga beberapa teknik dalam menangani risiko dapat diaplikasikan dengan benar.

### **3.3.11 Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan merupakan uraian singkat dari latar belakang hingga hasil pembahasan dari penelitian. Kesimpulan akan menjawab permasalahan dan tujuan dari penelitian. Saran yang dituliskan berisi tentang saran untuk perbaikan penelitian maupun instansi yang terlibat dalam penelitian.

## II. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Gambaran Umum Perusahaan

PG. Rejo Agung Baru berdiri pada tahun 1894 sebagai salah satu perusahaan NV Handel Kian Gwan. Pada tahun 1996 PG Rejo Agung Baru berubah menjadi PT PG Rajawali I Unit PG Rejo Agung Baru. Secara administratif PG Rejo Agung Baru terletak di Desa Patihan, Kecamatan Mangunharjo, Kota Madiun, yang terletak pada ketinggian 67 m dpl. Sejarah perjalanan usaha PT PG Rajawali I tertata dalam hitungan tahun, diawali tahun 1961 ketika pemerintah Indonesia menasionalisme Oei Tiaong Ham Concern, kemudian mendirikan PT Rajawali Nusantara Indonesia sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN). Pada tahun 1995 PT Rajawali Indonesia menggabungkan anak perusahaannya, PG Krebet Baru dan PG Rejo Agung Baru dalam satu payung perusahaan PT PG Rajawali I. Kerja tanpa lelah akhirnya tercapai ketika PT PG Rajawali I mampu menjawab harapan pemerintah dengan sumbangsih pencapaian rendemen 8,55 %, tertinggi diantara pabrik gula di Pulau Jawa pada tahun 2012.

PG Rejo Agung Baru mempunyai wilayah kerja dalam memperoleh bahan baku tebu yang tersebar di 4 Kabupaten di sekitar Karisidenan Madiun yaitu Madiun, Ponorogo, Ngawi, Magetan dan juga di wilayah kabupaten Nganjuk. Areal untuk budidaya tebu secara total seluas  $\pm 8.250$  ha dengan jumlah tebu  $\pm 760.000$  ton tebu yang semuanya dikelola dengan sistem tebu rakyat kemitraan. Sedangkan desain kapasitas pabrik dimiliki sekarang 6.000 TCD. PG Rejo Agung Baru memiliki visi dan misi dalam menjalankan kegiatan produksi gula. Visi yang dimiliki oleh PG Rejo Agung Baru adalah menjadi industri berbasis tebu yang unggul dalam persaingan global dan berwawasan lingkungan berlandaskan tata kelola perusahaan yang baik. Sedangkan misinya adalah meningkatkan kinerja terbaik melalui pencapaian produktivitas dan efektivitas, berorientasi kualitas produk, pelayanan pelanggan prima serta



menjadi perusahaan yang memiliki komitmen tinggi terhadap kelestarian lingkungan dan melakukan langkah-langkah inovasi, diversifikasi dan ekspansi untuk tumbuh berkembang berkelanjutan.

## 4.2 Proses Produksi Gula

### 4.2.1 Stasiun Penggilingan

Stasiun gilingan merupakan stasiun pertama sebagai proses produksi gula Kristal. Pada stasiun ini tebu digiling untuk mendapatkan nira atau sari tebu dengan semaksimal mungkin menggunakan mesin/alat penggiling. Alat penggiling yang ada di PG. Rejo Agung Baru terdapat dua unit gilingan, yaitu unit gilingan barat yang menggunakan tenaga penggerak dari turbin uap dengan kapasitas 8460 TCD dan unit gilingan timur yang menggunakan tenaga penggerak *steam engine* dengan kapasitas yang sama. Adapun *flow sheet* diagram proses penggilingan dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

Tebu yang berada di dalam lori dan truk diangkut dengan menggunakan *cane crane* untuk mempermudah proses pengangkutan tebu yang akan dimasukkan ke dalam meja tebu. Selanjutnya tebu dimasukkan ke *cane carrier* untuk membawa tebu ke tempat pemotongan atau *cane cutter*. Tebu akan dihaluskan dalam unigrator dan selanjutnya akan dibawa ke gilingan menggunakan *cane carrier*. Adapun mekanisme proses penggilingan sebagai berikut:

a. Gilingan I

Tebu yang sudah halus dimasukkan kedalam gilingan I untuk memperoleh nira. Nira yang berasal dari gilingan I akan di tampung ke dalam bak penampung dan akan dialirkan ke saringan DSM.

b. Gilingan II

Pada gilingan II ampas dari gilingan I akan digiling dengan menambahkan air imbibisi. Nira yang dihasilkan dari gilingan II ditampng ke bak penampung dan akan dialirkan ke saringan DSM yang tercampur dengan hasil



nira gilingan I. Nira yang dihasilkan akan keluar dari saringan DSM kemudian dialirkan ke timbangan *Boulogne*.

c. Gilingan III

Pada gilingan III ampas dari gilingan II ditambahkan air imbibisi untuk mendapatkan nira lagi. Hasil nira dari gilingan III dialirkan ke gilingan II untuk digunakan sebagai nira imbibisi.

d. Gilingan IV

Ampas dari gilingan III diolah di gilingan IV untuk mendapatkan nira kembali yang akan digunakan sebagai tabahan nira imbibisi. Hasil ampas pada gilingan IV digunakan sebagai bahan bakar boiler.

Air imbibisi adalah air yang ditambahkan pada ampas tebu saat akan masuk ke dalam roll penggiling untuk membunuh bakteri, melarutkan kandungan kadar gula yang hilang dan melarutkan rendemen gula yang masih terdapat pada ampas. Presentase air imbibisi yang diberikan pada setiap proses giling sebesar 25-30% nira tebu dengan suhu 60°C.

#### 4.2.2 Stasiun Pemurnian

Pada stasiun pemurnian terjadi proses menghilangkan kotoran yang berada pada nira mentah sehingga diperoleh nira jernih. Penghilangan kotoran dilakukan dengan beberapa pengaturan kondisi proses sehingga sukrosa maupun mikroorganisme yang sudah rusak menjadi sedikit. Dalam proses pemurnian tidak dapat sepenuhnya menghilangkan kotoran yang terdapat dalam nira, kotoran yang dapat dihilangkan hanya sebesar 10-25%. Proses pemurnian pada PGP. Rejo Agung Baru menggunakan sulfitasi sakarat yang dilakukan mulai dari nira mentah dipompa ke timbangan nira. Adapun *flow sheet* diagram proses pemurnian dapat dilihat pada **Lampiran 2**. Kemudian nira akan dipanaskan di dalam pan pemanas I dengan suhu akhir nira sebesar 75°C. Setelah nira mencapai suhu yang diinginkan akan ditambahkan sakarat. Pemberian sakarat dilakukan didalam pipa yang berisi nira

mengalir ke defekator. Pada defekator terjadi reaksi dan diperoleh pH nira 8,4 kemudian dihembuskan dengan gas  $\text{SO}_2$  dalam peti sulfitasi sehingga pH turun hingga 7,0-7,2. Kemudian Nira akan dimasukkan ke *reaction tank* untuk menyempurnakan reaksi yang terjadi pada nira. Nira yang berasal dari pan pemanas I selanjutnya dimasukkan ke pan pemanas II dan dipanaskan hingga suhu  $105^\circ\text{C}$ . Selanjutnya, nira dimasukkan ke dalam *falsh tank* yang bertujuan menghilangkan gas-gas yang tidak terpakai agar tidak mengganggu proses pengendapan. Nira kemudian dimasukkan ke dalam bejana pengendapan (*Clarifier*) yang ditambahkan flokulan. Kotoran yang diendapkan masih mengandung nira kotor akan ditapiskan di *rotary vacuum filter* (RVF). Filtrat yang diperoleh akan dikembalikan ke bak nira mentah dan akan diproses kembali. Nira yang keluar dari bejana pengendap akan dialirkan ke badan penguapan (BP).

#### 4.2.3 Stasiun Penguapan

Proses penguapan merupakan proses menguapkan nira dengan cara nira diberikan energi yang data mengubah erbedaan suhu sebagai dorongan dalam proses penguapan. Tujuan dari proses penguapan adpalah untuk menghilangkan sebagian besar air yang terkandung di dalam nira dan meminimlisir terjadinya kelihalangan gula. Pada proses penguapan diusahakan untuk tidak terjadi kerusakan gula. Proses penguapan di PG. Rejo Agung Baru menggunakan evaporator. Nira jernih yang sudah dimurnikan dimasukkan ke dalam evaporator. Evaporator I untuk *juice heater* II dan *vacumm* sedangkan untuk evaporator II untuk *juice heater* I. Nira yan berada di dalam evaporator akan menguapkan air ke kondensor dan di dalm kondensor ditambahkan air injeksi. Nira menjadi nira kental akan dialirkan ke sulfitor dan dari sulfitor akan dialirkan ke proses kristalisasi atau masakan. Adapun *flow sheet* diagram proses penguapan dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

#### 4.2.4 Stasiun Masakan

Stasiun masakan merupakan stasiun proses pemasakan nira kental menjadi gula Kristal. Pada stasiun masakan, sukrosa yang terkandung dalam nira dalam bentuk larutan dirubah menjadi Kristal. Jumlah Kristal yang dihasilkan harus setinggi-tingginya agar mampu untuk menekan sukrosa dalam larutan akhir. PG. Rejo Agung Baru memiliki beberapa sistem yang digunakan selama proses kristalisasi, yaitu tahap A, tahap C dan tahap D. Tahapan yang dilakukan sesuai dengan harga kemurnian nira kental mutu produk yang telah dihasilkan oleh PG. Rejo Agung Baru. Pan masakan yang digunakan terdiri dari 10 pan yang dibagi menjadi 3 tahapan, antara lain adalah:

1. Masakan gula A menggunakan pan masakan I, II, III, IV dan V.
2. Masakan gula C menggunakan pan masakan VI, VII dan VIII
3. Masakan gula D menggunakan pan masakan IX dan X.

Proses kristalisasi diawali dengan pengambilan nira kental dari diksa, kemudian ditarik dan dikeluarkan sampai membenang. Nira dipastikan membenang jika ditarik 3-5 cm tidak putus. Kemudian dilanjutkan ke pan masakan A dengan bahan nira kental dari diksap, *clare* SHS dan gula bibit C, setelah itu dialirkan ke palung pendingin. Setiap pan masakan memiliki 2 palung pendingin dan palung transfer atau yang disebut palung penampung masakan. Keduanya memiliki fungsi sama yaitu untuk menampung masakan sebelum masuk ke stasiun puteran dan memberikan proses kristalisasi berlanjut serta suhu masakan menjadi turun pada suhu 60°C. Pada masakan A hasilnya akan ditampung pada palung pendingin dan hasil masakan dialirkan oleh pipa menuju stasiun puteran. Hasil masakan A menuju putaran A. Kemudian yang kedua adalah masakan C, bahan yang digunakan dalam proses masakan C adalah stroop A dan gula D. Hasil masakan C dialirkan ke palung pendingin dan ditampung selama 6-8 jam dan selanjutnya dibawa ke putaran C. Pada masakan D, bahan yang digunakan adalah fondan, stroop C dan *Clare* D. Hasil

masakan D dialirkan ke palung pendingin dan ditampung selama 24 jam untuk selanjutnya dibawa ke stasiun putaran D. Adapun *flow sheet* diagram proses kristalisasi dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

#### 4.2.5 Stasiun Putaran

Stasiun putaran merupakan tempat proses pemisahan antara larutan stroop dan gula Kristal. PG. Rejo Agung Baru menggunakan dua jenis putaran yaitu *High Grade Fugal* (HGF) untuk masakan A dan SHS sebanyak 4 unit dan *Low Grade Fugal* (LGF) untuk masakan C dan D sebanyak 16 unit.

a. Putaran *High Grade Fugal* (HGF)

Putaran *High Grade Fugal* (HGF) merupakan putaran berkecepatan tinggi yang memanfaatkan gaya sentrifugal. Alat ini dapat melakukan proses pemisahan gula Kristal dari sisa-sisa stroop. Putaran ini didapatkan dari masakan A dan gula SHS atau gula produk. Terdapat dua jenis putaran dalam proses ini yaitu putaran A1 dan A2. Putaran A1 menghasilkan stroop A dan gula A, kemudian dilanjutkan ke putaran ke dua pada putaran A2 yang menghasilkan gula produk atau gula SHS dengan *clare* SHS. Stroop A akan dipompa ke stasiun masakan untuk digunakan di masakan C, sedangkan *clare* SHS akan dipompa ke stasiun masakan A untuk dimasak kembali. Selanjutnya gula SHS akan menuju ke stasiun penyelesaian dan pengemasan.

b. Putaran *Low Grade Fugal* (LGF)

Pada putaran ini digunakan untuk memutar hasil masakan C dan masakan D serta D2. Pada putaran C, menghasilkan stroop C dan gula C. Stroop C akan dipompa ke stasiun masakan D untuk bahan masakan D, sedangkan gula C akan dipompa ke stasiun masakan A untuk bahan masakan A. Kemudian pada putaran D terdapat dua jenis putaran yaitu D1 dan D2. D1 menghasilkan gula D1 dan tetes, tetes yang dihasilkan akan ditimbang dan

dipompa ke tanki penampung tetes. Gula D1 akan diberi air secukupnya hingga menjadi magma D1, kemudian dipompa ke putaran D2 sehingga menghasilkan gula D2 dan *clare* D. Gula D akan dipompa ke stasiun masakan untuk digunakan sebagai bahan masakan C. Adapun *flow sheet* diagram proses pemutaran dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

#### 4.2.6 Stasiun Penyelesaian

Pada stasiun penyelesaian merupakan tahap akhir dari proses produksi gula. Gula Kristal yang turun dari putaran SHS masih dalam keadaan yang hangat dan basah sehingga memerlukan proses pengeringan. Gula tersebut menuju ke *sugar dryer and cooler* untuk didinginkan. Selanjutnya gula dialirkan menuju ke *vibrating screen* untuk dipisahkan antara gula kasar, gula halus dan gula produk. Gula kasar akan dileurkan kembali sebagai bahan masakan, gula halus akan dileburkan kembali dan digunakan sebagai bibit sedangkan gula produk akan menuju ke *sugar bin* untuk selanjutnya dikemas dalam kemasan sak ukuran 50 kg/sak dan disimpan dalam gudang. Adapun *flow sheet* diagram proses penyelesaian pengemasan dapat dilihat pada **Lampiran 2**.

#### 4.3 Karakteristik Responden

Responden merupakan orang-orang yang membantu dalam penilaian risiko kegagalan yang terjadi pada proses produksi gula di PG. Rejo Agung Baru. Reponden melakukan penilaian dengan mengisi kuisioner yang disediakan oleh peneliti. Kuisioner tersebut berisi tentang penilaian adanya risiko kegagalan pada setiap proses produksi atau stasiun di PG. Rejo Agung Baru. Pada penelitian ini terdapat 3 responden sebagai informan, yaitu yang pertama adalah Pak Dodik sebagai staff fabrikasi dengan masa jabatan 30 tahun bekerja di PG. Rejo Agung Baru. Bobot yang diberikan untuk penilaian risiko pada metode *fuzzy* FMEA sebesar 40%. Responden kedua adalah Pak Gatot yang menjabat sebagai staff fabrikasi selama 15

tahun yang diberikan bobot 40%. Responden ketiga adalah Pak Nur Cahyadi yang menjabat sebagai staff QC selama 5 tahun di PG. Rejo Agung Baru serta beliau juga bekerja di PG. Krebet Malang yang masih satu induk perusahaan di PT PG. Rajawali I. Bobot yang diberikan untuk beliau dalam penilaian sebesar 20%, dimana pemberian bobot untuk masing-masing responden ditentukan berdasarkan kompetensi dan lama jabatan responden. Perbedaan pembobotan responden dapat mempengaruhi hasil nilai FRPN pada analisis dengan metode *fuzzy* FMEA, sehingga bobot yang diberikan untuk setiap responden harus seimbang yaitu total seluruhnya dari ketiga responden adalah 100%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wang *et al.*, (2009) menyatakan bahwa tim penilai FMEA berasal dari departemen yang berbeda sehingga memiliki pengetahuan dan pengalaman yang berbeda. Oleh sebab itu pemberian bobot untuk keseluruhan anggota tim totalnya adalah 100%.

#### **1.4 Identifikasi Risiko Kegagalan Proses Produksi Gula**

Identifikasi risiko kegagalan proses produksi gula di PG. Rejo Agung Baru didapatkan dari hasil pengamatan secara langsung di lokasi penelitian dan wawancara dengan pihak perusahaan yang mengetahui keadaan proses produksi. Risiko diidentifikasi berdasarkan bentuk kegagalan proses produksi yang terjadi di PG. Rejo Agung Baru antara lain, kapasitas gula yang dihasilkan tidak maksimal, kualitas warna Kristal gula belum memenuhi standar SNI. Keseluruhan risiko kegagalan yang mungkin terjadi diidentifikasi dan disesuaikan dengan keadaan perusahaan. Kesesuaian risiko akan divalidasi dengan para pakar, adapun pakar yang ditunjuk untuk memvalidasi atau mencocokkan jenis risiko yang ada adalah Pak Nur Cahyadi sebagai staff QC di PG. Rejo Agung Baru. Pakar akan mengisi lembaran yang berisikan seluruh jenis risiko yang mungkin terjadi pada proses produksi, jika jenis risiko sesuai dengan perusahaan maka pakar akan mengisi kolom lembaran setuju dan jika tidak sesuai maka kolom tidak setuju. Berdasarkan

pengamatan dan wawancara yang dilakukan didapatkan beberapa kemungkinan risiko kegagalan proses produksi yang terjadi di PG. Rejo Agung Baru. Adapun kemungkinan risiko kegagalan proses produksi yang terjadi berdasarkan variabel bahan baku, manusia, mesin, proses/ metode dan lingkungan dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

**Tabel 4.1** Kemungkinan Risiko Kegagalan Proses Produksi Gula

Variabel	Jenis Risiko Kegagalan	Setuju	Tidak Setuju
Bahan Baku	- Kualitas tebu tidak memenuhi standar (kematangan, kesegaran, kebersihan)	√	
	- Stok tebu habis		√
	- Keterlambatan bahan baku tebu		√
Tenaga Kerja	- Cidera atau Kecelakaan kerja	√	
	- Absennya karyawan		√
	- Kinerja karyawan rendah		√
Mesin	- Kerusakan mesin penggerak gilingan ( <i>gearbox</i> )	√	
	- <i>Cane cutter</i> berkarat		√
	- Pan masakan bocor		√
	- Pipa-pipa penyaluran nira bocor		√
	- Kemacetan <i>vibrating screen</i>		√
	- Mesin penjahit kemasan rusak		√

Sumber: Data Primer Diolah (2017).



**Tabel 4.1** Kemungkinan Risiko Kegagalan Proses Produksi Gula (Lanjutan)

Variabel	Jenis Risiko Kegagalan	Setuju	Tidak Setuju
Proses	<b>Stasiun gilingan</b>		
	- Proses penggilingan berhenti	√	
	- Terjadi kehilangan gula atau sakarosa		√
	- Proses pemerahan nira tidak maksimal		√
	<b>Stasiun Pemurnian</b>		
	- Nira tumpah atau luber		√
	- Proses pengendapan kotoran nira melambat	√	
	<b>Stasiun Penguapan</b>		
	- Proses pengentalan nira tidak efektif (nira masih encer)		√
	- Terjadi kerusakan gula		√
	<b>Stasiun Kristalisasi atau Masakan</b>		
	- Terdapat kotoran dalam nira yang dimasak		√
	- Suhu <i>vacum</i> atau pan tidak tercapai (<60°C).	√	
	- Proses kristalisasi melambat dan tidak efektif	√	
	- Penambahan bibit Kristal tidak sesuai		√
	<b>Stasiun Puteran</b>		
	- Proses penyaringan dengan <i>centrifuge</i> berhenti		√
	- Pemisahan gula Kristal dari larutan <i>stroop</i> tidak efektif.	√	

Sumber: Data Primer Diolah (2017).



**Tabel 4.1** Kemungkinan Risiko Kegagalan Proses Produksi Gula (Lanjutan)

Variabel	Jenis Risiko Kegagalan	Setuju	Tidak Setuju
Proses	<b>Stasiun Penyelesaian dan Pengemasan</b>		
	- Proses pengeringan gula melambat		√
	- Gula berwarna kecoklatan/tidak putih bersih	√	
	- Kemasan bocor/rusak.	√	
	- Berat gula dalam kemasan tidak sesuai standar ukuran kemasan		√
Lingkungan	- Udara area proses produksi panas dan berdebu	√	
	- Area proses produksi bising	√	

Sumber: Data Primer Diolah (2017).

Berdasarkan hasil pengamatan lapang dan wawancara, didapat 12 jenis risiko yang dijadikan variabel kuisioner. Variabel bahan baku didapatkan bahwa kualitas tebu tidak memenuhi standar dapat mengakibatkan kegagalan pada proses produksi gula. Dimana sering kali tebu yang akan digiling di PG. Rejo Agung Baru masih terdapat kotoran seperti daun ataupun akar, selain itu rendemen tebu yang <10% mempengaruhi jumlah gula yang dihasilkan. Pada variabel manusia/pekerja, adanya risiko pekerja mengalami cedera atau kecelakaan kerja mampu mempengaruhi kegiatan produksi gula yang berakibat akan terjadinya kegagalan proses produksi. Pekerja yang mengalami cedera saat bekerja akan berdampak pada kelangsungan proses produksi walaupun tidak terjadi secara signifikan karena mesin berjalan secara otomatis. Kemudian pada variabel mesin atau peralatan didapatkan bahwa keadaan mesin dan peralatan yang sudah usang atau tua dan berkarat di PG. Rejo Agung Baru merupakan risiko kegagalan proses produksi karena akan

berdampak pada kelangsungan proses produksi dan hasil akhir produk gula. Variabel proses atau metode didapatkan mulai dari stasiun gilingan, yaitu berhentinya proses giling, pada stasiun pemurnian terjadinya pengendapan kotoran nira yang melambat, pada stasiun penguapan suhu vacuum tidak tercapai ( $<60^{\circ}\text{C}$ ), pada stasiun masakan proses kristalisasi melambat, pada stasiun putaran proses pemisahan gula Kristal dengan larutan stroop tidak efektif dan pada stasiun penyelesaian warna gula masih kecoklatan atau tidak putih bersih dan terjadinya kebocoran kemasan gula. Sedangkan pada variabel lingkungan didapatkan keadaan lingkungan proses produksi panas dan berdebu serta bising dapat menimbulkan terjadinya kegagalan proses produksi gula di PG. Rejo Agung Baru.

## 4.6 Hasil Analis Metode *Fuzzy* FMEA

### 4.6.1 Penentuan Bobot *Saverity*, *Occurance* dan *Detection* pada FMEA

Analisis risiko menggunakan metode *Fuzzy* FMEA dilakukan dengan menentukan nilai *Saverity*, *Occurance* dan *Detection* dari kuisioner yang telah diisi atau dinilai oleh para responden. Responden pada penelitian ini terdapat 3 responden yaitu 2 responden dari bagian fabrikasi, yaitu Pak Dodik dan Pak Gatot serta 1 responden dari bagian QC yaitu Pak Nur Cahyadi. Hasil pengisian kuisioner kemudian dirubah ke dalam bahasa lingustik FMEA. Pengubahan kedalam bahasa lingustik FMEA dapat digunakan untuk mengetahui nilai bilangan *fuzzy* diberikan pada setiap risiko yang ada di PG. Rejo Agung Baru berdasarkan ketentuan bilangan *fuzzy*. Nilai bahasa linguistik yang digunakan untuk menentukan *fuzzy number* pada perhitungan selanjutnya yaitu pada faktor *severity* berada pada skala MR (*Minor*), VL (*Very Low*), L (*Low*), M (*Moderate*), H (*High*), VH (*Very High*) dan HWOW (*Hazardous Without Warning*). Pada faktor *Occurrence* nilai bahasa linguistik berada pada skala M (*Moderate*), L (*Low*), H (*High*), VH (*Very High*), sedangkan untuk faktor *Detection* berada pada nilai AC (*Almost*

*Certain*), H (*High*), VH (*Very High*), MH (*Moderately High*), M (*Moderate*). Adapun hasil kuisioner yang telah dirubah kedalam bahasa linguistik FMEA dapat dilihat pada **Tabel 4.2**. Sedangkan hasil perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran 3**.

**Tabel 4. 2** Hasil Kuisioner Penilaian

No	Risiko	Responden	S O D			Nilai bahasa Linguistik FMEA		
						S	O	D
1	Kualitas tebu tidak sesuai standar	R1	5	1 0	3	L	V H	H
		R2	5	1 0	3	L	V H	H
		R3	5	8	3	L	H	H
2	Pekerja mengalami cedera atau Kecelakaan kerja	R1	8	5	4	VH	M	M H
		R2	6	6	5	M	M	M
		R3	4	1	1	VL	L	AC
3	Kerusakan mesin penggerak gilingan ( <i>gearbox</i> )	R1	7	7	3	H	H	H
		R2	6	7	3	M	H	H
		R3	6	6	3	M	M	H
4	Proses penggilingan tebu berhenti	R1	8	7	3	VH	H	H
		R2	8	7	4	VH	H	M H
		R3	1 0	4	1	HWO W	M	AC
5	Proses Pengendapan Kotoran Nira melambat	R1	7	6	4	H	M	M H
		R2	7	6	3	H	M	H
		R3	4	4	2	VL	M	VH
6	Suhu Vacuum tidak tercapai (<60°C)	R1	8	6	2	VH	M	VH
		R2	8	6	2	VH	M	VH
		R3	4	4	1	VL	M	AC

Sumber: Data Primer Diolah (2017).

**Tabel 4. 2** Hasil Kuisisioner Penilaian (Lanjutan).

No	Risiko	Responden	S	O	D	Nilai bahasa Linguistik FMEA		
						S	O	D
7	Proses Kristalisasi Melambat	R1	5	3	3	L	L	H
		R2	5	3	3	L	L	H
		R3	4	4	2	VL	M	VH
8	Pemisahan Gula kristal dengan larutan stroop tidak efektif	R1	7	6	5	H	M	M
		R2	7	6	4	H	M	M <sub>H</sub>
		R3	4	4	2	VL	M	VH
9	Warna gula kecoklatan/tidak putih bersih	R1	6	5	4	M	M	M <sub>H</sub>
		R2	7	6	4	H	M	M <sub>H</sub>
		R3	4	4	2	VL	M	VH
10	Kemasan bocor/rusak	R1	7	5	2	H	M	VH
		R2	7	4	3	H	M	H
		R3	7	4	2	H	M	VH
11	Area Proses Produksi panas dan berdebu	R1	3	6	3	MR	M	H
		R2	3	6	4	MR	M	M <sub>H</sub>
		R3	4	4	2	VL	M	VH
12	Area Proses Produksi bising	R1	3	6	5	MR	M	M
		R2	3	6	4	MR	M	M <sub>H</sub>
		R3	3	4	2	MR	M	VH

Sumber: Data Primer Diolah (2017).

#### 4.6.2 Perhitungan Agregasi *Fuzzy Rating* Berdasarkan *Potential Failure*

Perhitungan agregasi *fuzzy rating* dari dampak (*severity*) merupakan perhitungan seberapa besar dampak yang dapat terjadi akibat adanya kegagalan proses produksi. Dampak

tersebut dinotasikan dengan skala 1 sampai 10, dimana nilai 1 merupakan dampak terendah atau tidak ada pengaruh terhadap proses dan nilai 10 merupakan tingkat kegagalan fatal yang tidak dapat ditolerir dan tanpa peringatan. Nilai *severity* (*severity*) didapatkan dengan cara menilai keadaan lapang dan hasil kuisioner oleh para pakar. Nilai dari *severity* (dampak) dari kemungkinan risiko kegagalan proses produksi di PG. Rejo Agung Baru dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

**Tabel 4. 3** Nilai agregasi *fuzzy rating severity*

No	Kemungkinan risiko	Dampak Potensial	Skala Severity
1.	Kualitas Tebu tidak sesuai standar	Kualitas (warna, rasa) gula yang dihasilkan tidak sesuai standar	5
2.	Pekerja mengalami cidera atau Kecelakaan kerja	Menimbulkan trauma bagi pekerja sehingga menurunkan motivasi kerja	6.4
3.	Kerusakan mesin penggerak gilingan ( <i>gearbox</i> )	Proses penggilingan tebu terganggu atau terhambat	6.4
4.	Proses penggilingan tebu berhenti	Nira tidak terperh dengan efektif	8.3
5.	Proses Pengendapan Kotoran Nira melambat	Nira masih kotor	6.4
6.	Suhu Vacuum tidak tercapai ( $<60^{\circ}\text{C}$ )	Proses penguapan nira tidak maksimal	7.2
7.	Proses Kristalisasi Melambat	Proses berjalan lebih lama dan tidak efisien	4.8

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

**Tabel 4. 3** Nilai agregasi *fuzzy rating severity* (Lanjutan).

No	Kemungkinan risiko	Dampak Potensial	Skala Severity
8.	Pemisahan Gula kristal dengan larutan stroop tidak efektif	Warna gula kurang bersih	6.4
9.	Warna gula kecoklatan/tidak putih bersih	Kualitas gula menurun/ produk cacat sehingga harus diproses ulang	6
10.	Kemasan bocor/rusak	Gula tumpah sehingga termasuk produk cacat	7
11.	Area Proses Produksi panas dan berdebu	Menyebabkan ketidaknyamanan dan menurunkan kinerja pekerja	3.2
12.	Area Proses Produksi bising	Gangguan pendengaran	3

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Berdasarkan hasil perhitungan agregasi *fuzzy rating severity* data diketahui bahwa nilai dari dampak (*severity*) yang ditimbulkan dari kemungkinan risiko yang terjadi berada pada kisaran skala 3 sampai 8. Nilai 3 skala tertinggi yang didapatkan berada pada kemungkinan risiko proses penggilingan tebu berhenti, suhu vacuum tidak tercapai ( $<60^{\circ}\text{C}$ ), kemasan bocor/rusak. Risiko proses penggilingan tebu berhenti memiliki nilai 8.3 yang dapat menimbulkan dampak nira tidak terperah dengan efektif. Jika nira tidak terperah dengan efektif maka hasil nira yang didapatkan tidak maksimal sehingga jumlah gula yang didapatkan juga tidak maksimal. Pada risiko suhu vacuum tidak tercapai ( $<60^{\circ}\text{C}$ ) memiliki nilai 7.2 yang dapat menimbulkan dampak proses penguapan nira tidak efektif. Kemudian pada risiko kemasan bocor/rusak memiliki nilai 7 yang dapat menimbulkan dampak gula tumpah dan termasuk produk cacat sehingga perlu diproses ulang (*rework*). Menurut Rengganis (2014) produk *rework* merupakan produk cacat yang dapat dikerjakan ulang. Artinya produk tersebut dapat diolah kembali menjadi produk yang sempurna.

Tahap selanjutnya adalah perhitungan nilai agregasi *fuzzy rating Occurrence* (Kejadian), dimana perhitungan nilai

*Occurrence* merupakan perkiraan tentang probabilitas kejadian (kegagalan) akan terjadi yang disebabkan oleh penyebab tertentu. Nilai *Occurrence* didapatkan dari observasi lapang terkait proses produksi gula dan pengisian kuisioner oleh para pakar perusahaan. Nilai agregasi *fuzzy rating Occurrence* kegagalan proses produksi di PG. Rejo Agung Baru dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

**Tabel 4. 4** Nilai agregasi *fuzzy rating Occurrence*.

No.	Kemungkinan Risiko	Penyebab Potensial	Skala <i>Occurrence</i>
1.	Kualitas Tebu tidak sesuai standar	Tebu masih muda sehingga rendemen tidak mencukupi	9.33
2.	Pekerja mengalami cedera atau Kecelakaan kerja	Kelalaian pekerja	4.67
3.	Kerusakan mesin penggerak gilingan ( <i>gearbox</i> )	Kurangnya perawatan	6.8
4.	Proses penggilingan tebu berhenti	Akibat terjadi slip dan gangguan kelistrikan	6.8
5.	Proses Pengendapan Kotoran Nira melambat	Aliran flokulan kecil	5.6
6.	Suhu Vacuum tidak tercapai (<60°C)	Kesalahan teknis atau kelalaian pekerja	5.6
7.	Proses Kristalisasi Melambat	Penambahan bibit Kristal tidak sesuai	3.2
8.	Pemisahan Gula kristal dengan larutan stroop tidak efektif	Proses pemutaran kurang efektif	5.6

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

**Tabel 4.4** Nilai Agregasi *Fuzzy Rating Occurrence* (Lanjutan).

No.	Kemungkinan Risiko	Penyebab Potensial	Skala <i>Occurrence</i>
9.	Warna gula kecoklatan/tidak putih bersih	Proses pemutaran dan pemberian air siraman kurang efektif	5.2
10.	Kemasan bocor/rusak	Keadaan kemasan yang buruk	4.4
11.	Area Proses Produksi panas dan berdebu	Kurangnya fentilasi atau pendingin dan kurangnya sanitasi lingkungan	5.6
12.	Area Proses Produksi bising	Karena penggunaan boiler	5.6

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Berdasarkan perhitungan agregasi *fuzzy rating Occurrence* terhadap kemungkinan risiko kegagalan proses produksi di PG. Rejo Agung Baru dapat diketahui bahwa nilai *occurrence* berada pada kisaran skala 3 sampai 9. Nilai tertinggi dari risiko kegagalan proses produksi yang akan terjadi terdapat pada risiko kualitas tebu tidak sesuai standar. Pada risiko kualitas tebu tidak sesuai standar memiliki nilai 9.3 yang artinya bahan baku tebu yang digunakan tidak sesuai standar kebersihan, kesegaran dan kematangan tebu. Penyebab utama bahan baku tidak sesuai dengan standar di PG. Rejo Agung Baru adalah keadaan tebu yang biasanya belum tua/masak namun sudah dipanen sehingga rendemen tidak mencukupi. Menurut Subiyanto (2016) parameter utama yang sering dijadikan indikator efisiensi industri gula adalah rendemen, yaitu perbandingan berat gula kristal (sukrosa) terhadap berat tebu yang digiling. Jika rendemen dinyatakan = 8%, maka untuk setiap 1000 kg =1 ton tebu giling diperoleh sukrosa 80 kg ( $8\% \times 1000 \text{ kg}$ ). Angka rendemen bukan saja merepresentasikan kinerja dari pabrik gula, tetapi juga kinerja kebun tebu, karena



angka rendemen yang diperoleh juga sangat bergantung kepada kualitas tebu (khususnya kandungan pol tebu) yang digiling. Selain itu tebu yang terlalu lama disimpan dilori tempat penumpukan bahan baku sebelum diproses menyebabkan tebu membusuk. Hal ini karena tebu diletakkan dalam ruangan terbuka dan terkena sinar matahari, akibatnya kualitas dan bobot tebu menurun yang berdampak pada hasil nira dan hasil produk gula. Menurut Prasetyo, dkk. (2016) lamanya penyimpanan tebu sebelum penggilingan juga memungkinkan terjadinya kontaminasi mikroba yang berlanjut pada saat penyimpanan tersebut. Enzim *invertase* merupakan enzim yang berfungsi untuk mempercepat reaksi invertase yaitu pecahnya sukrosa pada nira tebu menjadi gula pereduksi (glukosa dan fruktosa). Reaksi invertase pada bahan baku gula dianggap merugikan karena menurunkan rendemen gula sehingga perlu dicegah dengan memberikan antiinversi pada bahan baku tebu.

Risiko kedua yang mungkin akan terjadi adalah Kerusakan mesin penggerak gilingan (*gearbox*) yang memiliki nilai sebesar 6.8. Kerusakan mesin penggerak gilingan menyebabkan proses penggilingan tebu berhenti, sehingga akan mempengaruhi proses selanjutnya. Hal ini terjadi karena kurangnya perawatan. Menurut Wati (2009) perawatan adalah semua tindakan teknik dan administratif yang dilakukan untuk menjaga agar kondisi mesin/peralatan tetap baik dan dapat melakukan segala fungsinya dengan baik, efisien, dan ekonomis sesuai dengan tingkat keamanan yang tinggi. Sehingga dapat dikatakan bahwa seiring berlalunya waktu, fungsi mesin serta peralatan yang digunakan untuk produksi semakin lama akan berkurang. Namun dengan adanya suatu sistem perawatan yang baik, maka usia kegunaan mesin dapat diperpanjang dengan melakukan perawatan secara berkala dengan perawatan yang tepat. Pada risiko proses penggilingan tebu berhenti memiliki nilai 6.8 yang artinya proses penggilingan tebu berhenti akibat terjadi slip dan gangguan kelistrikan. Apabila slip terjadi maka ampas tebu menumpuk atau tersumbat pada mesin giling sehingga nira tidak akan terperah secara maksimal.

**Tabel 4. 5** Nilai agregasi *fuzzy rating Detection*

No.	Kemungkinan Risiko	Pengawasan saat ini atau Deteksi	Skala <i>Detecti on</i>
1.	Kualitas Tebu tidak sesuai standar	Pengecekan saat sebelum pemanenan, sebelum masuk timbangan	3
2.	Pekerja mengalami cidera atau Kecelakaan kerja	Melakukan pertolongan pertama saat kecelakaan terjadi.	3.9
3.	Kerusakan mesin penggerak gilingan ( <i>gearbox</i> )	Pengecekan dan perbaikan saat perawatan dan sebelum giling	3
4.	Proses penggilingan tebu berhenti	Pengecekan mesin giling sebelum mulai proses giling	3.1
5.	Proses Pengendapan Kotoran Nira melambat	Mencari sumber penyebab saat proses mengalami pengendapan mengalami gangguan	3.2
6.	Suhu Vacum tidak tercapai (<60°C)	Pengecekan ulang dan menyesuaikan SOP	1.9
7.	Proses Kristalisasi Melambat	Pengecekan saat proses kristalisasi berlangsung	2.8
8.	Pemisahan Gula kristal dengan larutan stroop tidak efektif	Pengecekan secara manual selama proses pemutaran dengan menaikkan gula ke permukaan	4
9.	Warna gula kecoklatan/tidak putih bersih	Pengecekan ketika gula masuk dalam <i>vibrating screen</i> dan dipisahkan secara otomatis antara gula kasar, halus dan gula produk serta pengambilan sampel untuk diuji kelayakan ukuran kristal (0,8-1,1 mm) gula dan warna gula	3.6

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

**Tabel 4. 5** Nilai agregasi *fuzzy rating Detection* (Lanjutan).

No.	Kemungkinan Risiko	Pengawasan saat ini atau Deteksi	Skala <i>Detecti on</i>
10.	Kemasan bocor/rusak	Pengecekan saat proses pengemasan gula	2.4
11.	Area Proses Produksi panas dan berdebu	Pengecekan secara manual dengan alat pengukur suhu ruangan proses produksi	3.2
12.	Area Proses Produksi bising	Pengecekan dengan alat pengukur tingkat kebisingan dan mengurangi sekecil mungkin kebisingan yang ditimbulkan oleh kegiatan proses produksi.	4

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Pada perhitungan nilai agregasi *fuzzy rating detection* digunakan untuk mengetahui deteksi atau pengawasan yang dilakukan oleh perusahaan dalam mengendalikan risiko kegagalan proses produksi. Nilai *detection* berada pada kisaran skala 1 sampai 4. Nilai *detection* 3 tertinggi dari hasil perhitungan berada pada risiko pemisahan gula kristal dengan larutan stroop tidak efektif, area proses produksi bising, pekerja mengalami cedera atau kecelakaan kerja. Risiko pemisahan gula kristal dengan larutan stroop tidak efektif memiliki nilai *detection* sebesar 4, bahwa pengawasan atau deteksi yang dilakukan oleh perusahaan terhadap risiko tersebut adalah dengan melakukan pengecekan secara manual selama proses pemutaran dengan menaikkan gula ke permukaan untuk mengetahui kristal gula benar-benar terpisah dari larutan stroop. Pada risiko area proses produksi bising memiliki nilai *detection* sebesar 4, bahwa pengawasan atau deteksi yang dilakukan oleh perusahaan terhadap risiko tersebut adalah pengecekan dengan alat pengukur tingkat kebisingan dan mengurangi sekecil mungkin kebisingan yang ditimbulkan oleh kegiatan proses produksi. Akan tetapi karna energi yang digunakan bersumber dari boiler tingkat kebisingan sulit untuk

dikendalikan. Menurut Jayawardana (2014) bahwa peningkatan tingkat kebisingan dengan kemajuan teknologi menjadi masalah yang serius dan menjadi resiko bahaya terhadap pendengaran pekerja. Kebisingan yang terjadi PG. Rejo Agung Baru masih dapat dikendalikan oleh pekerja.

Pada risiko pekerja mengalami cidera atau kecelakaan kerja memiliki nilai *detection* sebesar 3.9, bahwa perusahaan melakukan deteksi ataupun pengendalian dan pengawasan terhadap risiko tersebut dengan melakukan pertolongan pertama saat kecelakaan terjadi serta pengontrolan oleh bagian MSDM perusahaan. Menurut Riyadina (2007) kecelakaan industri secara umum disebabkan oleh 2 hal pokok yaitu perilaku kerja yang berbahaya (*unsafe human act*) dan kondisi yang berbahaya (*unsafe condistions*). Faktor manusia memegang peranan penting timbulnya kecelakaan kerja. Hasil penelitian menyatakan bahwa 80%-85% kecelakaan kerja disebabkan oleh kelalaian atau kesalahan faktor manusia. Pada PG. Rejo Agung Baru potensi terjadinya risiko ini tergolong rendah dalam mempengaruhi terjadinya kegagalan proses produksi gula. Para pekerja sebagian besar tidak terlalu terbebaskan dengan kegiatan selama proses produksi karena proses produksi sudah dijalankan oleh mesin dan peralatan pabrik dan pada setiap stasiun memiliki kepala atau mandor yang bertugas mengontrol dan mengendalikan jalannya proses produksi sehingga pekerja dibawahnya hanya menjalankan sesuai prosedur.

#### **4.6.3 Perhitungan Bobot Kepentingan dan Agregasi Faktor *Saverity*, *Occurance* dan *Detection***

Perhitungan bobot kepentingan untuk faktor *saverity*, *occurance* dan *detection* didapatkan dari perhitungan bobot masing-masing faktor. Masing-masing faktor memiliki bobot yang berbeda berdasarkan nilai yang ditentukan oleh para pakar perusahaan, selain itu masing-masing pakar yang menjadi responden juga diberikan bobot berdasarkan kompetensi dan lama jabatan yang totalnya adalah satu. Nilai bobot untuk masing-masing faktor memiliki lima tingkatan yaitu *very low*

(VH), *low* (L), *medium* (M), *high* (H) dan *very high* (VH). Penilaian bobot kepentingan berdasarkan bahasa linguistik yang kemudian diubah menjadi bilangan *fuzzy*. Hasil dari pengubahan ke dalam bilangan *fuzzy* dirata-rata dari ketiga responden dan didapatkan bobot kepentingan faktor dari responden dan dirata-rata seluruhnya untuk masing-masing faktor. Adapun perhitungan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.6**.

**Tabel 4.6** Perhitungan *Fuzzy* Bobot Kepentingan Faktor

Faktor	Respon den	Bobot (W)	Rating		FN		WXFN		Rata- rata
S	R1	0.4	M	$\frac{0.2}{5}$	0.5	0.45	0.1	0.2	0.3
	R2	0.4	M	$\frac{0.2}{5}$	0.5	0.75	0.1	0.2	0.3
	R3	0.2	L	0	0.25	0.5	0	0.05	0.1
	TOTAL						0.2	0.45	0.7
O	R1	0.4	M	$\frac{0.2}{5}$	0.5	0.75	0	0	0.1
	R2	0.4	L	0	0.25	0.5	0	0.1	0.2
	R3	0.2	L	0	0.25	0.5	0	0.05	0.1
	TOTAL						0	0.15	0.4
D	R1	0.4	H	0.5	0.75	1	0.2	0.3	0.4
	R2	0.4	H	0.5	0.75	1	0.2	0.3	0.4
	R3	0.2	L	0	0.25	0.5	0	0.05	0.1
	TOTAL						0.4	0.65	0.9

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Pada *rating* untuk *severity* dari ketiga responden dua diantaranya memberikan penilaian *Medium* (M), hal ini dikarenakan daftar risiko yang ada cukup berpengaruh terhadap

kelangsungan proses produksi gula di PG. Rejo Agung Baru. *Rating* untuk *occurrence* dari ketiga responden dua diantaranya memberikan penilaian *Low* (L), hal ini dikarenakan risiko kegagalan proses produksi yang ada dianggap tidak sering terjadi atau kejadiannya rendah. *Rating* untuk *detection* dari ketiga responden dua diantaranya memberikan penilaian *High* (H), hal ini dikarenakan pengawasan dan deteksi yang dilakukan oleh perusahaan saat ini terhadap risiko-risiko tersebut dianggap sudah dilakukan dengan baik.

#### 4.6.4 Perhitungan *Fuzzy Risk Priority Number* (FRPN)

Nilai *Fuzzy Risk Priority Number* (FRPN) didapatkan dari perhitungan dengan rumus:

$$FRPN = (RiS') \frac{wiS'}{wS' + wO' + wD'} \times (RiO') \frac{wiO'}{wS' + wO' + wD'} \times (RiD') \frac{wiD'}{wS' + wO' + wD'}$$

Dimana,  $RiS'$ ,  $RiO'$ ,  $RiD'$  diatas merupakan rata-rata dari nilai agregasi *fuzzy rating* dari *Occurance*, *Saverity* dan *Detection*.  $WiO$ ,  $WiS$ ,  $WiD$  merupakan rata-rata bobot kepentingan faktor *Occurance*, *Saverity* dan *Detection*. Nilai FRPN dirangkingkan untuk mengetahui urutan mulai dari nilai terbesar sampai terkecil. Nilai FRPN terbesar menunjukkan bahwa risiko tersebut perlu mendapatkan perhatian dan penanganan yang lebih utama dari pihak PG. Rejo Agung Baru untuk dapat meminimalisir risiko atau jika memungkinkan risiko tersebut dapat dihilangkan. Adapun nilai *Fuzzy Risk Priority Number* (FRPN) dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

**Tabel 4. 3** Nilai *Fuzzy Risk Priority Number* (FRPN)

Kemungkinan Risiko	FRPN	Rangking
1. Kualitas Tebu tidak sesuai standar	4.70	2
2. Pekerja mengalami cidera atau Kecelakaan kerja	3.88	5
3. Kerusakan mesin penggerak gilingan ( <i>gearbox</i> )	4.38	4
4. Proses penggilingan tebu berhenti	5.83	1
5. Proses Pengendapan Kotoran Nira melambat	3.85	6
6. Suhu Vacuum tidak tercapai ( $<60^{\circ}\text{C}$ )	2.53	8
7. Proses Kristalisasi Melambat	1.44	12
8. Pemisahan Gula kristal dengan larutan stroop tidak efektif	4.81	3
9. Warna gula kecoklatan/tidak putih bersih	3.77	7
10. Kemasan bocor/rusak	2.48	9
11. Area Proses Produksi panas dan berdebu	1.92	11
12. Area Proses Produksi bising	2.25	10

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Berdasarkan nilai FRPN yang telah dihitung besaran nilai pada risiko yang ada berada pada kisaran nilai 1 sampai 5 dimana nilai tersebut akan diambil urutan 3 terbesar untuk kemudian dianalisis menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Menurut Swarna dan Venkatakrishnaiah (2014) *Fault tree analysis* (FTA) adalah analisis kegagalan menggunakan logika deduktif dimana keadaan sistem yang tidak diinginkan dianalisis dengan menggunakan logika Boolean untuk menggabungkan rangkaian kejadian tingkat rendah. Metode analisis ini digunakan untuk memahami bagaimana sistem dapat gagal, untuk mengidentifikasi cara terbaik untuk mengurangi risiko. Menurut Rosih dkk (2015), pengambilan nilai risiko kritis 3 teratas dapat memudahkan peneliti dalam mengidentifikasi FTA secara fokus. Urutan 3 terbesar dari nilai FRPN tersebut adalah risiko proses penggilingan tebu berhenti, pemisahan gula kristal dengan larutan stroop tidak efektif dan kualitas bahan baku tidak memenuhi standar. Pada risiko proses penggilingan tebu berhenti memiliki nilai FRPN sebesar 5.83 menunjukkan bahwa

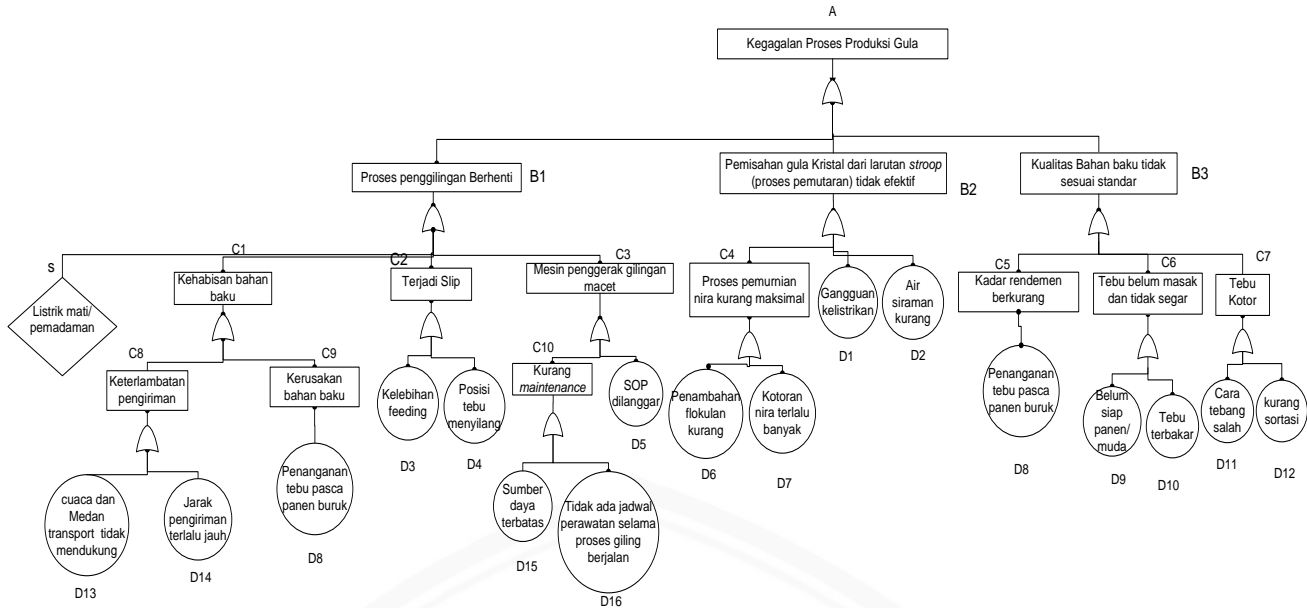


risiko tersebut paling dominan terjadi dan memiliki dampak yang besar terhadap jalannya proses produksi gula di PG. Rejo Agung Baru. Pemisahan Gula kristal dengan larutan stroop tidak efektif memiliki nilai 4.81 yang merupakan urutan risiko ketiga yang paling dominan dapat menyebabkan kegagalan proses produksi gula. Pada risiko Kualitas bahan baku tidak memenuhi standar memiliki nilai FRPN sebesar 4.70.

#### 4.7 Analisis Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) digunakan untuk menggambarkan hubungan sebab akibat dalam menganalisis risiko kegagalan proses produksi gula di PG. Rejo Agung Baru. FTA merupakan salah satu metode yang mampu menggambarkan dan menjelaskan secara mendetail terkait akar atau sumber penyebab kemungkinan kegagalan suatu proses. Menurut Papadopoulos (2004) Titik awal analisis FTA adalah pengidentifikasian mode kegagalan pada *top level* suatu sistem. Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan komponen-komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. Hubungan tersebut dinyatakan dalam gerbang logika. Dari diagram *fault tree* ini dapat disusun *cut set* dan *minimal cut set*. FTA pada dasarnya terdiri dari diagram logika yang menampilkan keadaan sistem dan dibangun dengan menggunakan teknik desain grafis. Hasil FRPN 3 tertinggi yang didapatkan dari metode *Fuzzy FMEA* adalah risiko kritis yang dijadikan sebagai *top event*. Ketiga risiko kritis tersebut merupakan risiko yang paling dominan menyebabkan kegagalan proses produksi. Risiko kritis tersebut adalah risiko proses penggilingan tebu berhenti, pemisahan gula kristal dengan larutan stroop tidak efektif dan kualitas bahan baku tidak memenuhi standar. Adapun bentuk *Fault Tree Analysis* risiko kegagalan proses produksi gula di PG. Rejo Agung Baru dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



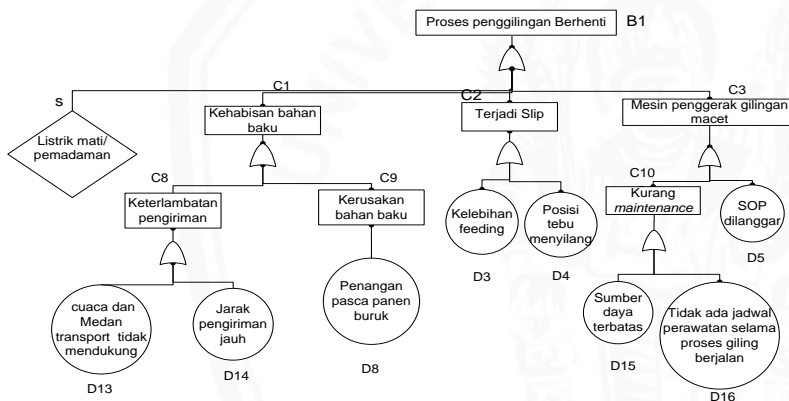


**Gambar 4.1** *Fault Tree Analisis* PG. Rejo Agung Baru  
Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Berdasarkan *fault tree* yang telah digambarkan kegagalan proses produksi menggunakan simbol-simbol yaitu simbol kejadian dan gerbang. Simbol kejadian yang digunakan pada *fault tree* risiko kegagalan proses produksi adalah *basic event* (kejadian dasar), *intermediate event* dan *top event*. Hasil risiko kegagalan proses produksi gula di PG. Rejo Agung Baru diperoleh 16 *basic event*, 10 *intermediate event* dan 3 *top event*. Simbol gerbang yang digunakan adalah *AND gate* dan *OR gate*. Simbol gerbang menggambarkan hubungan kejadian *input* yang mengarah ke *output*. Gerbang *OR* menunjukkan bahwa kejadian *output* terjadi jika satu atau dua *input* terjadi. Kegagalan proses produksi di PG. Rejo Agung Baru disebabkan oleh 3 faktor yang menjadi *top event* antara lain adalah proses penggilingan tebu berhenti, proses pemisahan gula Kristal dengan larutan stroop (pemutaran) tidak efektif dan kualitas bahan baku tidak memenuhi standard. Analisis *fault tree* disederhanakan menjadi 3 indikator berdasarkan ketiga *top event* faktor penyebab kegagalan proses produksi gula.

### 1. Indikator Proses Penggilingan Berhenti

Indikator proses penggilingan berhenti merupakan salah satu indikator risiko kegagalan proses produksi gula di PG. Rejo Agung Baru. Adapun analisis *fault tree* proses penggilingan berhenti adalah sebagai berikut:



**Gambar 4. 1. Fault Tree Analysis Proses Giling Berhenti**  
Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Simbol B merupakan *top event*, C merupakan *intermediate event*, simbol D merupakan *basic event* dan simbol S merupakan *basic event* yang tidak perlu dilakukan pencarian penyebabnya lagi. Proses penggilingan tebu berhenti disebabkan oleh 4 faktor bahan baku habis, terjadi slip, mesin penggerak gilingan macet dan listrik mati/pemadaman. Faktor habisnya bahan baku menyebabkan tidak ada lagi tebu yang akan digiling, sehingga proses pada stasiun gilingan berhenti. Bahan baku yang habis ini disebabkan oleh keterlambatan pengiriman dan kerusakan bahan baku (tebu). Adapun faktor yang menyebabkan keterlambatan pengiriman tebu adalah faktor cuaca dan medan transportasi yang tidak mendukung dan jarak pengiriman tebu dari perkebunan menuju pabrik yang jauh. Sedangkan kerusakan bahan baku disebabkan oleh penanganan tebu pasca panen yang buruk yaitu penyimpanan lama dan kontaminasi mikroba. Menurut Tjokrodirdjo (1985), Adanya lama penyimpanan tebu yang lebih panjang pada batas tertentu maka kadar air akan berkurang, dengan berkurangnya kadar air maka terjadi pemecahan sukrosa ke dalam gula sederhana (glukosa dan fruktosa). Selain itu penyimpanan tebu yang terlalu lama menyebabkan perubahan warna karena tebu memiliki kandungan senyawa fenolik apabila teroksidasi dengan O<sub>2</sub> membentuk senyawa kuinon (Bariyus, 2017).

Pada faktor terjadinya slip, membuat tebu yang akan digiling dari *can cutter* menuju mesin giling posisi tebu menyilang sehingga tebu tidak dapat tercacah dan menumpuk. Faktor ketiga adalah mesin penggerak gilingan (*gearbox*) macet/rusak hal ini terjadi akibat kurangnya perawatan dan pelanggaran SOP mesin. Perawatan mesin *gearbox* akibat sumber daya perawatan dan perbaikan yang dimiliki oleh perusahaan belum memadai serta tidak adanya penjadwalan perawatan selama proses giling berlangsung. Faktor keempat adalah terjadinya pemadaman listrik yang menyebabkan listrik dari PLN dioper ke listrik perusahaan. Proses peralihan jaringan listrik ini dapat menyebabkan proses penggilingan tebu berhenti apabila tidak berjalan dengan baik.

repository.ub.ac.id

Berdasarkan *fault tree* diatas didapatkan persamaan dengan mengacu pada persamaan aljabar Boolean, adapun persamaannya sebagai berikut:

$$T (B1) = C1+C2+C3+S$$

$$C1 = C8+C9$$

$$C2 = D3+D4$$

$$C3 = C10+D5$$

$$C8 = D13+D14$$

$$C9 = D8$$

$$C10 = D15+D16$$

Jika menggunakan pendekatan dari atas ke bawah didapatkan:

$$T (B1) = C1+C2+C3+S$$

$$T (B1) = C8+C9+ D3+D4+C10+D5+S$$

$$T (B1) = D13+D14+D8+D3+D4+D15+D16+D5+S$$

Berdasarkan persamaan di atas maka diketahui *cut set* dari *fault tree* proses giling berhenti. *Cut set* merupakan kombinasi kegagalan kejadian dasar antara lain adalah {D13}, {D14}, {D8}, {D3}, {D4}, {D15}, {D16}, {D5}, {S} sehingga didapatkan hasil analisis kualitatif dari risiko proses penggilingan berhenti sebagai *top event* terjadi apabila kejadian dibawah ini terjadi, antara lain:

- a. Listrik mati/pemadaman
- b. Cuaca dan medan transport tidak mendukung
- c. Jarak pengiriman tebu jauh
- d. Penanganan pasca panen yang buruk
- e. Kelebihan *Feeding*
- f. Posisi tebu menyilang
- g. Sumber daya terbatas
- h. Tidak ada jadwal perawatan selama proses giling berlangsung
- i. Pelanggaran SOP

Selanjutnya adalah analisis kuantitatif FTA indikator proses penggilingan berhenti. Analisis kuantitatif dilakukan untuk menaksirkan kemungkinan atau probabilitas kejadian yang akan diselidiki. Probabilitas *basic event* didapatkan dari terjadinya

kegagalan pada proses penggilingan berhenti selama 2 tahun terakhir masa giling sebanyak 360 hari. Menurut Baig dan Risza (2014) probabilitas kegagalan diasumsikan sebagai probabilitas yang diketahui menyebabkan peningkatan kesalahan pada hasil. Probabilitas tersebut dapat disimpulkan lebih akurat dengan metode FTA yang dikombinasikan dengan logika fuzzy. Probabilitas *basic event* yang diperoleh dari masing-masing *basic event* dapat dilihat pada **Tabel 4.8**.

Nilai probabilitas *basic event* yang didapatkan merupakan hasil perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Probabilitas} = \frac{\text{frekuensi kegagalan}}{\text{frekuensi pemakaian}}$$

**Tabel 4.8** Probabilitas *Basic Event* Risiko Proses Penggilingan Berhenti

Simbol	Deskripsi	Frekuensi kegagalan (hari)	Frekuensi pemakaian (hari)	Probabilitas
S	Listrik mati/pemadaman Cuaca dan	3	360	0.0083
D13	medan transport tidak mendukung Jarak	9	360	0.025
D14	pengiriman tebu jauh	7	360	0.0194
D8	Penanganan pasca panen buruk	8	360	0.022
D15	Sumber daya terbatas	5	360	0.0139

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

**Tabel 4.8** Probabilitas *Basic Event* Risiko Proses Penggilingan Berhenti (Lanjutan).

Simbol	Deskripsi	Frekuensi kegagalan (hari)	Frekuensi pemakaian (hari)	Probabilitas
D16	Tidak ada jadwal perawatan selama proses giling berlangsung	5	360	0.0139
D3	Kelebihan <i>Feeding</i>	6	360	0.0166
D4	Posisi tebu menyilang	13	360	0.0361
D5	Pelanggaran SOP	6	360	0.0167

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Analisis kuantitatif diatas menghasilkan *minimal cut set*, dimana *minimal cut set* merupakan kombinasi terkecil dari kejadian dasar yang menyebabkan kejadian puncak terjadi (Fitria dan Faisal, 2009). Adapun *minimal cut set* dari proses giling berhenti antara lain, {S}, {D3}, {D4}, {D5}, maka dari probabilitas *basic event* pada **Tabel 4.8** didapatkan nilai *minimal cut set* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 MCS &= S+D3+D4+D5 \\
 &= 0.0083 + 0.0166 + 0.0361 + 0.0167 \\
 &= 0.0777
 \end{aligned}$$

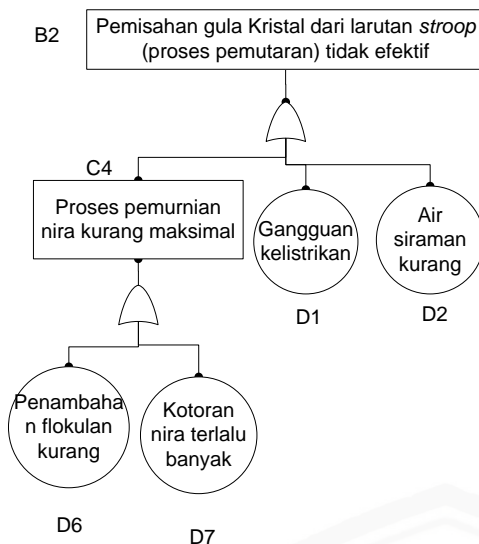
Setelah didapatkan *minimal cut set*, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *Risk Reduction Worthh* (RRW). Menurut Vesely *at.al* (1983) *risk reduction worth* didefinisikan sebagai penurunan risiko ketika komponen diasumsikan dapat dioptimalkan atau dibuat dengan sempurna. Pengurangan Resiko dapat didefinisikan sebagai rasio atau sebagai interval. Adapun perhitungan RRW adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{RRW(S)} &= \frac{0.0777}{0.0777-0.0083} = 1.12 \\ \text{RRW3} &= \frac{0.0777}{0.0777-0.0166} = 1.27 \\ \text{RRW4} &= \frac{0.0777}{0.0777-0.0361} = 1.86 \\ \text{RRW5} &= \frac{0.0777}{0.0777-0.0167} = 1.27 \end{aligned}$$

Nilai *RRW basic event* yang paling berpengaruh terhadap risiko kritis pada proses penggilingan berhenti adalah *basic event* ke 4 dengan nilai 1.62 yaitu posisi tebu menyilang yang mengakibatkan terjadinya slip. Menurut Rahmanto (2008) pada waktu gilingan bekerja diusahakan jangan sampai terjadi slip. Bila terjadi slip maka ampas yang akan digiling bertumpuk di muka roll gilingan sehingga terjadi slip. Sebaliknya, pengeluaran ampas pada gilingan juga harus lancar sebab kemacetan pengeluaran akan mengakibatkan ampas yang keluar gilingan menjadi banyak.

## 2. **Indikator Pemisahan gula Kristal dari larutan *stroop* (proses pemutaran) tidak efektif**

Indikator pemisahan gula kristal dari larutan *stroop* (proses pemutaran) tidak efektif merupakan indikator risiko kegagalan proses produksi gula yang kedua. Indikator ini menunjukkan bahwa jika proses pemutaran yang terjadi di stasiun putaran tidak efektif yangp menyebabkan hasil warna Kristal kura tidak sesuai SNI. Adapun *fault tree* indikator pemisahan gula kristal dari larutan *stroop* (proses pemutaran) tidak efektif adalah sebagai berikut:



**Gambar 4. 2** *Fault Tree Analysis* Pemisahan gula Kristal dari larutan *stroop* (proses pemutaran) tidak efektif.

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Berdasarkan *fault tree* diatas didapatkan persamaan dengan mengacu pada persamaan aljabar Boolean, adapun persamaannya sebagai berikut:

$$T(B2) = C4 + D1 + D2$$

$$C4 = D6 + D7$$

Jika menggunakan pendekatan dari atas ke bawah didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$T(B2) = C4 + D1 + D2$$

$$T(B2) = D6 + D7 + D1 + D2$$

Berdasarkan persamaan di atas maka diketahui *cut set* dari *fault tree* proses giling berhenti yaitu {D1}, {D2}, {D6}, {D7}, sehingga didapatkan hasil analisis kualitatif dari risiko proses penggilingan berhenti sebagai *top event* terjadi apabila kejadian dibawah ini terjadi, antara lain:

- Gangguan kelistrikan
- Air siraman kurang
- Penambahan flokulan kurang



d. Kotoran nira terlalu banyak

Selanjutnya adalah analisis kuantitatif FTA indikator pemisahan gula kristal dari larutan *stroop* (proses pemutaran) tidak efektif. Probabilitas *basic event* yang diperoleh dari masing-masing *basic event* dapat dilihat pada **Tabel 4.9**. Nilai probabilitas *basic event* yang didapatkan merupakan hasil perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Probabilitas} = \frac{\text{frekuensi kegagalan}}{\text{frekuensi pemakaian}}$$

**Tabel 4.9** Probabilitas *Basic Event* Risiko Pemisahan gula Kristal dari larutan *stroop* (proses pemutaran) tidak efektif.

Simbol	Deskripsi	Frekuensi kegagalan (hari)	Frekuensi pemakaian (hari)	Probabilitas
D1	Gangguan kelistrikan	9	360	0.025
D2	Air siraman kurang	8	360	0. 022
D6	Penambahan flokulan kurang	4	360	0.0111
D7	Kotoran nira terlalu banyak	2	360	0.0055

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Analisis kuatitatif diatas menghasilkan *minimal cut set* yaitu, {D1} dan {D2} maka dari probabilitas *basic event* pada **Tabel 4.9** didapatkan nilai *minimal cut set* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{MCS} &= \text{D1} + \text{D2} \\ &= 0.025 + 0. 022 \\ &= 0.047 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan *minimal cut set*, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *Risk Reduction Worthh* (RRW). Adapun perhitungan RRW adalah sebagai berikut:

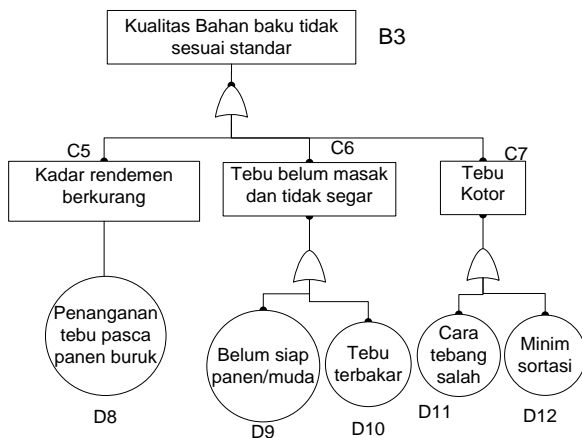
$$RRW1 = \frac{0.047}{0.047-0.025} = 2.14$$

$$RRW2 = \frac{0.047}{0.047-0.022} = 1.88$$

Nilai RRW *basic event* yang paling berpengaruh terhadap risiko kritis pada proses pemisahan gula Kristal dan larutan stroop (proses pemutaran) tidak efektif adalah *basic event* ke 1 dan 2 dengan nilai 2.14 yaitu adanya gangguan kelistrikan yang menyebabkan proses pemutaran larutan gula tidak berjalan dengan efektif. Proses ini terjadi pada stasiun putaran, dimana larutan gula dari hasil masakan akan dipisahkan antara gula Kristal dan larutan stroop. Jika proses tidak berjalan dengan efektif maka gula yang dihasilkan memiliki warna kurang bersih atau kecoklatan. Selain itu akan terjadi penggumpalan setelah proses pengeringan karena kandungan air yang terdapat pada gula terlalu banyak sehingga ukuran butiran gula tidak sesuai dengan standar. Menurut Nugraheni (2010) standar besaran butir gula berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah 0,8-1,2 mm. Parameter yang digunakan dalam distribusi ukuran kristal adalah *median mesh size* (MA) dan *coefficient of variation* (CV). Nilai dari MA dan CV digunakan sebagai nilai input bagi perancangan alat pengering (*sugar dryer*). Secara umum nilai MA > 0.55 mm dan CV 28 % serta kadar air < 1% digunakan sebagai parameter input perancangan *sugar dryer*. Nilai ideal tersebut diharapkan proses pengeringan gula kristal dapat berjalan normal sehingga target nilai kadar air gula produk dapat tercapai (Bostock, 2009).

### 3. Indikator Kualitas Bahan Baku tidak Memenuhi Standar

Indikator kualitas bahan baku tidak memenuhi standar merupakan indikator risiko kegagalan proses produksi gula ketiga. Indikator ini mempengaruhi kualitas gula yang dihasilkan di PG. Rejo Agung Baru. Adapun *fault tree* indikator kualitas bahan baku tidak memenuhi standar adalah sebagai berikut:



**Gambar 4. 3** *Fault Tree Analysis* Kualitas Bahan Baku tidak Memenuhi Standar

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Berdasarkan *fault tree* diatas didapatkan persamaan dengan mengacu pada persamaan aljabar Boolean, adapun persamaannya sebagai berikut:

$$T(B3) = C5 + C6 + C7$$

$$C5 = D8$$

$$C6 = D9 + D10$$

$$C7 = D11 + D12$$

Jika menggunakan pendekatan dari atas ke bawah didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$T(B3) = C5 + C6 + C7$$

$$T(B3) = D8 + D9 + D10 + D11 + D12$$

Berdasarkan persamaan tersebut didapatkan *minimal cut set* dari **Gambar 4.11** adalah {D8}, {D9}, {D10}, {D11}, {D12}. Berdasarkan *minimal cut set* dilakukan analisis kualitatif dari risiko kualitas bahan baku tidak memenuhi standar sebagai *top event* yang terjadi apabila kejadian dibawah ini terjadi, antara lain:

- Penanganan tebu pasca panen buruk
- Tebu belum siap panen

- c. Tebu terbakar
- d. Cara pemanenan/tebang yang salah
- e. Minim penyortiran tebu

Selanjutnya adalah analisis kuantitatif FTA indikator kualitas bahan baku tidak memenuhi standar. Analisis kuantitatif dilakukan dengan menghitung probabilitas atau kemungkinan dari *basic event* risiko kualitas bahan baku tidak memenuhi standar. Nilai probabilitas *basic event* yang didapatkan merupakan hasil perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Probabilitas} = \frac{\text{frekuensi kegagalan}}{\text{frekuensi pemakaian}}$$

Nilai probabilitas *basic event* dari masing-masing *basic event* tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.10**.

**Tabel 4.10** Probabilitas *Basic Event* Risiko Kualitas Bahan Baku tidak Memenuhi Standar

Simbol	Deskripsi	Frekuensi i kegagalan (hari)	Frekuensi pemakaian (hari)	Probabilitas
D8	Penanganan tebu pasca panen buruk	8	360	0.022
D9	Tebu belum siap panen	2	360	0.005
D10	Tebu terbakar	7	360	0.019
D11	Cara pemanenan/tebang yang salah	0	360	0
D12	Minim penyortiran tebu	14	360	0.039

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Analisis kuantitatif diatas menghasilkan *minimal cut set* yaitu, {D8}, {D9}, {D10}, {D11}, {D12}, maka dari probabilitas *basic event* pada **Tabel 4.10** didapatkan nilai *minimal cut set* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 MCS &= D8+D9+D10+D11+D12 \\
 &= 0.022+0.005+0.019+0+0.039 \\
 &= 0.085
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan *minimal cut set*, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai *Risk Reduction Worthh* (RRW). Adapun perhitungan RRW adalah sebagai berikut:

$$RRW8 = \frac{0.085}{0.085-0.022} = 1.35$$

$$RRW9 = \frac{0.085}{0.085-0.005} = 1.06$$

$$RRW10 = \frac{0.085}{0.085-0.019} = 1.28$$

$$RRW11 = \frac{0.085}{0.085-0} = 1$$

$$RRW12 = \frac{0.085}{0.085-0.039} = 1.84$$

Nilai RRW *basic event* yang paling berpengaruh terhadap risiko kritis kualitas bahan baku (tebu) tidak memenuhi standar adalah RRW *basic event* ke 12 yang memiliki nilai tertinggi sebesar 1.84. Nilai tersebut menunjukkan bahwa *basic event* minimnya penyortiran atau pengecekan bahan baku sebelum diproses, dimana setelah tebu ditebang akar, daun dan tanah yang melekat pada batang masih terbawa hingga tebu akan dimasukkan ke mesin penggiling sehingga mampu mempengaruhi hasil (kehigenisan) gula. Menurut Sugiono (2009), standar atau syarat tebu layak digiling adalah memiliki kriteria MBS (Masak, Bersih dan Segar). Tebu sudah masak (sesuai dengan kemasakan optimalnya, Masak Awal – Masak Tengah atau Masak Lambat), berarti tanaman mampu memberikan hasil gula yang ideal untuk dipanen. Proses kemasakan tebu ini tidak bisa diamati “seketika”, tetapi melalui proses yang dipantau dengan parameter FK (Faktor Kemasakan), KDT (Koefisien Daya Tahan) dan KP (Koefisien Peningkatan). Pengertian Bersih (dari unsur non tebu, non gula), dinyatakan dalam persen bobot kotoran, yang umumnya meliputi Tebu Muda (Sogolan), Pucuk Tebu (Momol), Daun Kering (Daduk), Akar, Tanah dan kotoran non tebu lain (kadang terikut batang pisang, pohon papaya, bahkan kayu penguat bak truck). Persen kotoran diharapkan lebih kecil dari 5 %, yang

biasanya diamati melalui Analisa Kebersihan tebu (Analisa Lori atau Analisa Truck). Pengertian Segar merupakan kesegaran tanaman tebu sejak di potong sampai dengan digiling (*cut to crush*  $\propto$  *retention time*), tidak lebih dari 36 jam. Bahkan terdapat peraturan kesegaran mencantumkan angka 24 jam bahkan 12 jam. Menurut Dewi dkk. (2012) dalam penelitiannya menyatakan bahwa tebu disimpan pada suhu ruang dengan kisaran 26-32°C mengalami susut bobot. Persentase penyusutan berat bibit tebu pada lama penyimpanan 3,6, dan 9 hari yaitu berturut-turut 5,06%, 6,2%, dan 13,63%, semakin lama penyimpanan penyusutan bibit tebu semakin tinggi karena adanya penurunan kadar air bibit pada saat disimpan. Manajemen tebang angkut merupakan salah satu titik kritis dalam budidaya tebu. Akibat manajemen tebang angkut yang tidak tertata dengan baik, tebu yang memiliki potensi rendemen tinggi akan kehilangan banyak gula karena terlambat digiling.

Selanjutnya adalah perhitungan probabilitas keseluruhan dari kegagalan proses produksi gula, adapun perhitungannya dapat dilihat sebagai berikut:

$$T(A) = B1 \cup B2 \cup B3$$

$$T(A) = (C1+C2+C3+S) \cup (C4+D1+D2) \cup (C5+C6+C7)$$

$$T(A) = (D13+D14+D8+D3+D4+D15+D16+D5+S) + (D6+D7+D1+D2) + (D8+D9+D10+D11+D12)$$

$$T(A) = (0.025 + 0.0194 + 0.022 + 0.0166 + 0.0361 + 0.0139 + 0.0139 + 0.0167 + 0.0083) + (0.0111 + 0.0055 + 0.025 + 0.022) + (0.022 + 0.005 + 0.019 + 0 + 0.039)$$

$$T(A) = 0.1719 + 0.0636 + 0.085$$

$$T(A) = 0.3205$$

$$R = 1 - 0.3205 = 0.6795 = 67.95\%$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa kemungkinan atau probabilitas kegagalan proses produksi gula di PG. Rejo Agung Baru memiliki risiko sebesar 67.95% atau 0.6795 yang artinya kejadian berada dalam kategori risiko cukup rendah untuk

terjadi di PG. Rejo Agung Baru. Menurut Addawiyah dan Windraswara (2016) apabila nilai probabilitas  $> 0$  dan  $< 1$ , maka nilai probabilitas semakin mendekati 1 artinya kejadian yang tidak diinginkan semakin berisiko untuk terjadi. Begitu pula sebaliknya, jika nilai probabilitas semakin mendekati 0 maka kejadian yang tidak diinginkan akan semakin rendah untuk terjadi. Berdasarkan nilai probabilitas keseluruhan diketahui potensi risiko yang terjadi, sehingga akan diketahui akar penyebab masalah yaitu *basic event* atau kejadian dasar secara keseluruhan dari nilai RRW (*Risk Reduction Worth*). Nilai RRW menunjukkan kejadian dasar sebagai akar penyebab timbulnya risiko yang paling dominan atau yang akan diutamakan dalam penanganan atau pengendalian. Berikut adalah nilai *risk reduction worth basic event* secara keseluruhan yang dapat dilihat pada **Tabel 4.11**.

**Tabel 4. 11** Nilai *Risk Reduction Worth* (RRW) *Basic Event* keseluruhan

Deskripsi	<i>Basic Set</i>	RRW
Listrik padam	S	1.12
Gangguan kelistrikan	1	2.14
Air siraman kurang	2	1.88
Kelebihan <i>Feeding</i>	3	1.27
Posisi tebu menyilang	4	1.86
Pelanggaran SOP	5	1.27
Penanganan tebu pasca panen buruk	8	1.35
Tebu belum siap panen	9	1.06
Tebu terbakar	10	1.28
Cara pemanenan/tebang yang salah	11	1
Minim penyortiran tebu	12	1.84

Sumber: Data Primer Diolah, 2017.

Berdasarkan perhitungan RRW didapatkan nilai tertinggi adalah pada *basic event* ke 1, 2, 4 dan 13. Nilai RRW pada *basic event* 1 dan 2 yaitu penambahan air gangguan kelistrikan pada proses pemutaran sebesar 2.14 dan kurangnya air



siraman sebesar 1.88 gangguan kelistrikan yang terjadi di stasiun putaran adalah saat terjadinya sistem *blackout* (padam total) yang dapat menghentikan proses produksi selama lebih dari 24 jam. Pada stasiun putaran menggunakan *centrifuge* yang menggunakan kecepatan putaran 1100 rpm, jika terjadi sistem *blacout* maka mesin akan berhenti sehingga proses pemisahan larutan stroop dengan gula kristal tidak efektif. Proses pemutaran dilakukan dengan alat *Centrifuge Separator* yang bekerja menggunakan gaya sentrifugal, dimana kristal yang terdapat dalam bak putaran akan terlempar dan ditahan oleh saringan, sedangkan larutannya akan lolos melalui saringan (Chen dan Chou, 1993). Selanjutnya adalah nilai RRW *basic event* 2 kurangnya air siraman pada proses putaran yang berlangsung menyebabkan hasil warna gula kurang putih bersih. Hal ini terjadi akibat kelalaian pekerja yang menginginkan proses berjalan cepat.

Nilai RRW pada *basic event* ke 4 adalah posisi tebu menyilang dengan nilai sebesar 1.62. Posisi tebu yang menyilang menyebabkan tebu tidak dapat tergiling, sehingga tebu akan menumpuk dan menyebabkan slip. Selanjutnya adalah nilai RRW *basic event* ke 13 memiliki nilai 1.47 yaitu minimnya penyortiran atau pemilahan dan pengecekan kualitas tebu sebelum digiling. Tebu tiba di pabrik ditampung dalam lori-lori yang kemudian akan memasuki stasiun penggilingan, sebelum digiling tebu dipilah berdasarkan kematangan, kesegaran dan kebersihan. Akan tetapi jumlah tebu yang akan masuk dalam stasiun pengilingan cukup besar sehingga penyortiran tebu sangat minim dilakukan. Menurut Winarno (1993) prinsip dasar pengolahan pangan diawali dengan penanganan terhadap bahan mentah, khususnya proses pemisahan atau penyortiran yang umumnya meliputi tahap-tahap/operasi: (1) pembersihan, yaitu pemisahan kontaminan dari bahan baku; (2) pemilihan (sortasi), yaitu pemisahan atau pemilahan bahan baku berdasarkan perbedaan sifat fisiknya seperti ukuran, bentuk dan warna, (3) pengkelasan mutu (grading), yaitu pemisahan atau pemilahan bahan baku berdasarkan kualitasnya, dan (4) penyimpanan bahan baku.



#### 4.8 Risk Response Planning

*Risk Response Planning* adalah salah perencanaan tindakan yang akan dilakukan oleh PG. Rejo Agung Baru dalam menangani penyebab terjadinya risiko kegagalan proses produksi gula. Berdasarkan *basic event* risiko kritis yang didapatkan dapat diambil keputusan untuk perencanaan penanganan risiko atau *risk response planning* sebagai berikut:

- a. Melakukan pengawasan dan perawatan mesin bukan hanya pada masa berhenti giling, tetapi pengawasan dan perawatan dilakukan pada masa giling untuk mengurangi terjadinya gangguan pada mesin produksi sehingga beban listrik menjadi lebih stabil.
- b. Melakukan pengawasan dan sanksi terhadap pekerja yang laai dalam menjalankan tugas selama proses produksi.
- c. Membatasi jumlah tebu yang masuk untuk sekali giling

Peusahaan perlu membatasi jumlah tebu yang akan digiling dalam sekali giling agar kelebihan feeding dapat terhindarkan sehingga posisi tebu tetap membujur setelah terpotong dengan *cane cutter*. Sehari PG. Rejo Agung Baru memiliki kapasitas produksi 6000 TCD dalam 3 shift tau 3 kali proses, sehingga dalam sekali proses tebu yang masuk 1000 TCD (1000 ton tebu). Jika tebu yang dimasukkan >1000 ton dalam sekali proses dapat menyebabkan posisi tebu menyilang setelah dipotong melalui *cane cutter* sehingga terjadi slip dan sebaliknya jika jumlah tebu yang masuk  $\leq 1000$  ton dalam sekali proses maka akan sangat minim terjadi slip akibat kelebihan feeding dan penggilingan tebu berjalan dengan baik.

- d. Menerapkan sistem sortasi dan pengecekan bahan baku tebu berdasarkan kriteria MBS (matang, bersih dan segar) secara efektif.

Perusahaan perlu melakukan kegiatan sortasi tebu setelah ditebang dan sampai di pabrik. Tebu-tebu yang telah sampai di pabrik seharusnya dicek dan dipilah berdasarkan standar kelayakan tebu siap giling, yaitu berdasarkan kematangan, kesegaran dan kebersihan tebu. Pemilahan tebu dilakukan dengan mengecek batang tebu bersih dari sisa-sisa kotoran seperti akar, daun kering, dan tanah. Jika terdapat

batang tebu yang kotor maka dilakukan pembersihan ulang dengan menggunakan parang. Kemudian tebu juga harus dicek tingkat kematangannya dimana pengecekan dan pemilahan ini harus dilakukan ketika tebu akan ditebang. Untuk meminimalisir pekerja tebang melakukan tebang dengan salah, maka perusahaan harus memantau jalannya tebang atau memberikan pengarahan tentang sistem tebang yang baik dan benar sebelum melakukan tebang. Hal ini dilakukan agar tebu yang ditebang memiliki standar yang sesuai dengan MBS (matang, bersih, segar). Selanjutnya adalah tebu dicek berdasarkan tingkat kesegaran, yaitu tebu yang telah sampai dipabrik berjumlah sangat besar, jika terjadi waktu tunda giling maka tebu akan tersimpan dalam lori-lori yang berada pada tempat penampungan bahan baku tebu terlalu lama. Waktu tunda giling akan menyebabkan kandungan rendemen tebu berkurang/susut bobot dan tebu membusuk. Hal ini dikarenakan tebu disimpan dalam ruangan terbuka dan langsung terkena sinar matahari. Oleh karena itu perusahaan perlu memberikan penanganan dengan meletakkan tebu ditempat yang sejuk dan mengecek kembali kualitas tebu yang telah tertampung sebelum digiling. Jika tebu telah membusuk dan tidak segar maka tebu tidak dapat masuk dalam gilingan karena akan mempengaruhi rasa dan wana gula yang dihasilkan. Pengecekan atau sortasi tebu bertujuan agar gula yang dihasilkan memiliki warna kristal yang sesuai dengan standar SNI gula kristal putih.

## V. PENUTUP

### 5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil dari penelitian ini adalah didapatkan tiga indikator risiko kritis atau risiko yang dominan menimbulkan kegagalan proses produksi dari perhitungan dengan metode *fuzzy FMEA* berdasarkan nilai FRPN (*Fuzzy Risk Priority Number*). Risiko kritis tersebut adalah proses penggilingan tebu berhenti, proses pemisahan gula Kristal dengan larutan stroop tidak efektif dan kualitas bahan baku tidak memenuhi standar. Kemudian ketiga indikator risiko kritis tersebut dianalisis dengan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengetahui akar penyebab masalahnya.

Berdasarkan analisis *fault tree* didapatkan akar penyebab risiko kegagalan proses sebanyak 18 penyebab (*basic event*). *Basic event* tersebut dihitung nilai *risk reduction worth* (RRW) didapatkan hasil tertinggi akar penyebab timbulnya risiko kegagalan proses produksi yang paling utama antara lain adalah gangguan aliran listrik pada stasiun putaran mengakibatkan terhambatnya proses, posisi tebu menyilang yang menyebabkan slip, dan minimnya sortasi tebu yang menyebabkan kualitas gula yang dihasilkan buruk. Usulan perbaikan (*risk respons planning*) yang diberikan kepada PG. Rejo Agung adalah Melakukan pengawasan dan perawatan mesin bukan hanya pada masa berhenti giling, tetapi pengawasan dan perawatan dilakukan pada masa giling untuk mengurangi terjadinya gangguan pada mesin produksi sehingga beban listrik menjadi lebih stabil, Melakukan pengawasan dan sanksi terhadap pekerja yang lalai dalam menjalankan tugas selama proses produksi, Membatasi kapasitas tebu yang masuk untuk sekali giling. Menerapkan sistem sortasi dan pengecekan bahan baku tebu secara efektif berdasarkan kriteria MBS (matang, bersih dan segar).

## 5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk PG. Rejo Agung Baru adalah diharapkan perusahaan mampu menerapkan usulan perbaikan (*risk respon planning*) yang diberikan sehingga dapat membantu mengurangi risiko kegagalan proses produksi gula. Sedangkan untuk saran bagi peneliti selanjutnya adalah penelitian dapat dilakukan dari faktor biaya ataupun spesifik pada salah satu stasiun agar analisis risiko kegagalan lebih detail. Selain itu dapat juga dilakukan penelitian terhadap risiko kualitas gula dari PG. Rejo Agung Baru.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gula

Gula adalah suatu karbohidrat sederhana yang menjadi sumber energi dan komoditi perdagangan utama. Gula paling banyak diperdagangkan dalam bentuk kristal sukrosa padat. Gula digunakan untuk mengubah rasa menjadi manis dan keadaan makanan atau minuman. Gula sederhana, seperti glukosa (yang diproduksi dari sukrosa dengan enzim atau hidrolisis asam), menyimpan energi yang akan digunakan oleh sel. Secara kimiawi gula sama dengan karbohidrat, tetapi umumnya pengertian gula mengacu pada karbohidrat yang memiliki rasa manis, berukuran kecil dan dapat larut. Kata gula pada umumnya digunakan sebagai padanan kata untuk sakarosa (sukrosa) (Marta, 2011). Menurut Desmi (2014), gula adalah salah satu karbohidrat terpenting yang digunakan sebagai sumber tenaga. Gula merupakan salah satu hasil fotosintesis dan awal bagi respirasi. Bentuk alami (D-glukosa) disebut juga dekstrsa.

Gula ditetapkan menjadi produk strategis (*strategic product*) atau produk sensitif (*sensitive product*) yang berusaha dikendalikan pemerintah melalui Departemen Perdagangan bersama dua komoditas lainnya yaitu beras dan minyak goreng (Tempo, 2007). Salah satu sumber bahan pemanis utama, gula telah digunakan secara luas dan dominan baik untuk keperluan konsumsi rumah tangga maupun bahan baku industri pangan. Realita ini terjadi karena di satu sisi gula mengandung kalori sehingga dapat menjadi alternatif sumber energi dan di sisi lain gula digunakan sebagai bahan pengawet dan tidak membahayakan kesehatan pemakainya (Sugiyanto, 2007).

Pemanis gula sangat sering kita jumpai di pasaran, yang paling umum kita gunakan adalah gula pasir. Menurut Darwin (2013), gula pasir adalah jenis gula yang paling mudah dijumpai, digunakan sehari-hari untuk pemanis makanan dan minuman. Gula pasir berasal dari cairan sari tebu, yang akan mengalami

kristalisasi dan berubah menjadi butiran gula berwarna putih bersih atau putih agak kecoklatan (*raw sugar*). Setiap produsen gula pasir dalam negeri untuk menjalankan kegiatan industrinya harus mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI GKP No. 3140.3:2010). Berikut adalah data standar kualitas Gula Kristal Putih (GKP) atau Gula Pasir sesuai SNI dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2.1** SNI Gula Kristal Putih (GKP)

Kriteria	Satuan	Persyaratan	
		GKP 1	GKP2
Warna Kristal	CT	4,0-7,5	7,6-10,0
Warna Larutan (ICUMSA)	IU	80-200	201-300
Besar Jenis Butir	Mm	0,8-1,2	0,8-1,2
Susut Pengeringan	%	Maks 0,1	Maks 0,1
Poralitas ( $^{\circ}\text{Z}$ , $20^{\circ}\text{C}$ )	%	Min 99,6	Min 99,5
Abu Konduktiviti (b/b)	%	Maks 0,10	Maks 0,15
Belarang Oksida ( $\text{SO}_2$ )	mg/kg	Maks 0,30	Maks 0,30
Kadar air	%	0,1	0,1

Sumber: Badan Standart Nasional (2010).

Keterangan : GKP1 = Gula Kristal Putih nomor 1

GKP2 = Gula Kristal Putih nomor 2

Kedua GKP di atas yang memiliki kualitas paling baik adalah GKP1, kemudian GKP 2. Penjelasan mengenai kriteria uji syarat mutu gula kristal putih adalah sebagai berikut (Kuswuri, 2009):

- Warna kristal dapat dilihat secara langsung dengan mata, secara kualitatif dengan cara membandingkan dengan standar dapat diketahui tingkat keputihan (whiteness) gula. Penggunaan peralatan (spektrofotometer refleksi) diperlukan untuk pengukuran kuantitatif yang dinyatakan dalam CT (*colour type*).
- Warna larutan gula berkisar dari kuning muda (warna muda) sampai kuning kecoklatan (warna gelap) diukur dengan metode ICUMSA (*International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis*), dinyatakan dalam indeks warna. Semakin besar indeks semakin gelap

- warna larutan. Batasan maksimal indeks warna untuk GKP adalah 300 iu.
- Polarisasi menunjukkan kadar sukrosa dalam gula, semakin tinggi polarisasi semakin tinggi kadar gulanya. Batasan minimal kadar pol adalah 99,5 %.
  - Besar jenis butir adalah ukuran rata-rata butir kristal gula dinyatakan dalam milimeter. Persyaratan untuk GKP adalah 0,8 sampai 1, 2 mm.
  - Kadar SO<sub>2</sub> gula produk kita berkisar 5 sampai 20 ppm, ini disebabkan sebagian besar pabrik gula menggunakan proses sulfitasi, sehingga terdapat residu SO<sub>2</sub> seperti pada kisaran tersebut. Adanya residu SO<sub>2</sub> menjadi kendala untuk konsumsi industri makanan atau minuman, yang biasanya menuntut bebas SO<sub>2</sub>. Kadar SO<sub>2</sub> maksimal yang diperkenankan di Indonesia adalah 0,30 m/kg.
  - Kadar air adalah jumlah air (%) yang terdapat dalam gula, biasanya batasan maksimal 0,1%. Gula yang mengandung kadar air tinggi cepat mengalami penurunan mutu/kerusakan dalam penyimpanan, berubah warna, mencair dan sebagainya.

## 2.2 Proses Produksi Gula

Proses produksi merupakan fungsi pokok dari suatu perusahaan yang bergerak dalam bidang manufaktur, untuk itu diperlukan suatu sistem yang dapat merencanakan dan mengendalikan proses produksi tersebut. Proses produksi merupakan proses perubahan bentuk dan peningkatan daya guna dari suatu bahan baku menjadi barang-barang yang sudah diolah dan siap dipasarkan dengan melibatkan faktor-faktor produksi dalam pelaksanaannya. (Rosa dan Suharmiati, 2008). Pada proses pembuatan gula dari tebu merupakan proses pemisahan sakharosa yang terdapat dalam batang tebu dari zat-zat lain seperti air, zat organik, sabut. Pemisahan dilakukan dengan cara tebu digiling dalam beberapa mesin penggiling sehingga diperoleh cairan yang disebut nira. Nira yang diperoleh dari mesin penggiling dibersihkan dari zat-zat bukan gula



dengan pemanasan dan penambahan zat kimia, sedangkan ampas digunakan bahan ketel uap (Landdheer, 1977). Adapun proses produksi gula yang ada di pabrik gula secara umum meliputi (Santoso, 2011):

1. Proses Penimbangan dan Pengerjaan Pendahuluan
2. Penggilingan tebu (Stasiun Gilingan)
3. Pemurnian nira (Stasiun Pemurnian)
4. Penguapan nira (Stasiun Penguapan)
5. Kristalisasi (Stasiun Masakan)
6. Pemisahan (Stasiun Putaran)
7. Pengeringan, pendinginan dan pengemasan (Stasiun Penyelesaian)

Rangkaian proses produksi yang memiliki pengaruh besar terhadap kualitas produk GKP yang dihasilkan adalah proses pemurnian nira. Menurut Muqiah (2013) proses pemurnian dilakukan dengan cara: tebu yang telah diperah dan diperoleh nira mentah (*raw juice*), selanjutnya dimurnikan. Dalam nira mentah mengandung gula, yang terdiri dari sukrosa, gula *invert* (glukosa + fruktosa), zat bukan gula, dari atomatom (Ca, Fe, Mg, Al) yang terikat pada asam-asam, asam organik dan anorganik, zat warna, lilin, asam-asam yang mudah mengikat besi, aluminium, dan sebagainya. Pada proses pemurnian zat-zat bukan gula akan dipisahkan dengan zat yang mengandung gula. Secara umum ada 3 jenis pemurnian nira tebu, yaitu proses defekasi, proses sulfitasi dan Karbonatasi. Jenis teknologi yang digunakan dalam proses pemurnian akan menentukan tingkat absorpsi komponen warna sehingga produknya lebih cerah dan bersih (Kurniawan dkk, 2009).

## 2.3 Manajemen Risiko

Risiko merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kehidupan, bahkan ada orang yang mengatakan bahwa tidak ada hidup tanpa risiko, terlebih lagi dalam dunia bisnis dimana ketidakpastian beserta risikonya merupakan sesuatu yang tidak dapat diabaikan begitu saja, melainkan harus diperhatikan secara cermat bila menginginkan kesuksesan. Risiko adalah



suatu aktivitas yang rentan akan menimbulkan dampak negatif dengan mempertimbangkan probabilitas dan dampak dari kemunculan risiko (Darmawati, 2006). Definisi lain dari risiko adalah sesuatu yang mengarah pada ketidakpastian atas terjadinya suatu peristiwa selama selang waktu tertentu yang mana peristiwa tersebut menyebabkan suatu kerugian kecil yang tidak begitu berarti maupun kerugian besar yang berpengaruh terhadap kelangsungan hidup dari suatu perusahaan (Lokobal, dkk, 2014).

Risiko pada perusahaan bersumber dari berbagai hal yang dapat mempengaruhi produktifitas suatu perusahaan. Menurut Yasa dkk (2013), risiko dapat bersumber dari politik (*political*), lingkungan (*environmental*), perencanaan (*planning*), pemasaran (*market*), ekonomi (*economic*), keuangan (*financial*), proyek (*project*), teknik (*technical*), manusia (*human*), kriminal (*criminal*), dan keselamatan (*safety*). Analisis risiko dapat dilakukan baik secara kualitatif maupun kuantitatif, dimana risiko harus diidentifikasi dan akibat (*effect*) harus dinilai atau dianalisis. Tujuan dari analisis risiko adalah membantu menghindari kegagalan dan memberikan gambaran tentang apa yang terjadi bila proyek yang dijalankan ternyata tidak sesuai dengan rencana. Menurut Husein (2001), risiko perusahaan dapat dibagi atas dua tipe, yaitu risiko yang bersifat tradisional yang sulit dikendalikan manajemen perusahaan. Kedua adalah risiko yang dapat dikendalikan oleh manajemen perusahaan.

Manajemen risiko adalah suatu pendekatan terstruktur/metodologi dalam mengelola ketidakpastian yang berkaitan dengan ancaman, atau suatu rangkaian aktivitas manusia termasuk penilaian risiko, pengembangan strategi untuk mengelolanya, dan mitigasi risiko dengan menggunakan pemberdayaan atau pengelolaan sumber daya (Suswinarno, 2012). Menurut Waters (2011), manajemen risiko adalah proses secara sistematis untuk mengidentifikasi, menganalisis dan menanggapi risiko di seluruh organisasi.

Secara umum, manajemen risiko didefinisikan sebagai proses, mengidentifikasi, mengukur dan memastikan risiko dan

repository.ub.ac.id

mengembangkan strategi untuk mengelola risiko tersebut. Proses yang dilalui dalam manajemen risiko diantaranya (Mastura, 2011):

1. Perencanaan Manajemen Risiko, perencanaan meliputi langkah memutuskan bagaimana mendekati dan merencanakan aktivitas manajemen risiko untuk proyek.
2. Identifikasi Risiko, tahapan selanjutnya dari proses identifikasi risiko adalah mengenali jenis-jenis risiko yang mungkin dan umumnya dihadapi oleh setiap pelaku bisnis.
3. Analisis Risiko Kualitatif, analisis kualitatif dalam manajemen risiko adalah proses menilai (*assessment*) dampak dan kemungkinan dari risiko yang sudah diidentifikasi. Proses ini dilakukan dengan menyusun risiko berdasarkan efeknya terhadap tujuan proyek.
4. Analisis Risiko Kuantitatif adalah proses identifikasi secara numerik probabilitas dari setiap risiko dan konsekuensinya terhadap tujuan proyek.
5. Perencanaan Respon Risiko (*Risk response planning*) adalah proses yang dilakukan untuk meminimalisasi tingkat risiko yang dihadapi sampai batas yang dapat diterima.
6. Pengendalian dan Monitoring Risiko, langkah ini adalah proses mengawasi risiko yang sudah diidentifikasi, memonitor risiko yang tersisa, dan mengidentifikasi risiko baru, memastikan pelaksanaan *risk management plan* dan mengevaluasi keefektifannya dalam mengurangi risiko.

## 2.4 Kegagalan Proses Produksi

Kegagalan digolongkan berdasarkan dampak yang diberikan terhadap kesuksesan suatu misi dari sebuah sistem. Menurut Firmansyah dan Wayan (2013), kegagalan dapat didefinisikan sebagai ketidakmampuan bahan atau komponen untuk menjalankan fungsinya secara baik, tidak sesuai dengan desain, dan rancangan awal. Ketika komponen belum

mengalami kerusakan atau patah, namun komponen tersebut sudah tidak dapat berfungsi dengan baik, maka dapat dikatakan bahwa komponen tersebut telah mengalami kegagalan.

Model kegagalan proses menjelaskan kesalahan sistem dalam hal kegagalan proses, model kegagalan saluran dalam hal kegagalan saluran, dan model kegagalan *hybrid* baik dari segi saluran dan kegagalan proses. Model kegagalan proses adalah model kesalahan yang diberikan dalam hal model kegagalan fungsional dan model kegagalan struktural (Warn, 2009). Kegagalan dalam proses produksi berdampak pada, kualitas produk, jumlah produksi yang telah dicapai, dan waktu produksi yang hilang akibat terjadinya gangguan operasional. Terdapat 3 (tiga) jenis kegagalan produk yang terjadi pada kegiatan produksi, yaitu (Puspitasari dan Arif, 2014):

1. Dijual Langsung, kegagalan yang dijual langsung adalah jenis produk gagal atau produk cacat yang tidak lulus terhadap inspeksi, namun masih layak untuk dijual langsung kepada konsumen yang siap menampung produk jenis cacat seperti ini.
2. Dikerjakan Kembali (*reworked*), kegagalan ini merupakan jenis cacat yang dapat dimasukkan ke dalam proses produksi lagi untuk diproses lebih lanjut, untuk menghasilkan suatu produk lain dalam kondisi yang tidak cacat lagi.
3. Dibuang Langsung (*scrap*), kegagalan ini merupakan jenis produk cacat yang paling parah. Artinya produk cacat ini merupakan hasil dari proses produksi yang sudah tidak ada artinya lagi. Dalam artian, produk cacat tersebut sudah tidak mungkin pula untuk dijual, karena tingkat kegagalan jenis produk ini, merupakan kegagalan yang tidak dapat diusahakan apa-apa.

## **2.5 Fuzzy Failure Modes and Effect Analysis (Fuzzy FMEA)**

### **2.5.1 Logika Fuzzy**

Logika *fuzzy* adalah metodologi sistem kontrol pemecahan masalah, yang cocok untuk diimplementasikan

pada sistem, mulai dari sistem yang sederhana, sistem kecil, *embedded system*, jaringan PC, *multi-channel* atau *workstation* berbasis akuisisi data, dan sistem kontrol. Dalam aplikasinya *fuzzy* dapat di implementasikan terhadap data-data yang kurang valid atau data-data yang bersifat linguistik yang ditetapkan oleh fungsi keanggotaan dalam penyelesaiannya himpunan *fuzzy* mengaitkan 4 metode penyelesaian dimana di antaranya adalah fuzzifikasi, komposisi aturan, sistem inferensi, dan defuzzifikasi (Rosalina, dkk, 2016). Logika *fuzzy* merupakan salah satu metode untuk melakukan analisa sistem yang mengandung ketidakpastian. Penerapan logika *fuzzy* dalam FMEA adalah untuk membantu menentukan nilai *Risk Priority Number* dari kegagalan yang terjadi. Beberapa keuntungan menggunakan logika *fuzzy* antara lain (Kusumadewi, 2002):

1. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. Logika *fuzzy* sangat fleksibel. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
3. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi non linier yang sangat kompleks.
4. Logika *fuzzy* dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
5. Logika *fuzzy* dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
6. Logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa alami.

Logika *fuzzy* dapat menjelaskan fenomena atau proses tertentu secara linguistik kemudian mempresentasikannya dalam sejumlah aturan yang fleksibel. Organisasi dapat menggunakan logika *fuzzy* untuk menciptakan sistem piranti lunak yang menangkap pengetahuan tersirat yang mengandung ambiguitas linguistik. Logika *fuzzy* menyediakan solusi bagi masalah-masalah yang sulit dipecahkan hanya dengan menggunakan aturan *IF-THEN* (Laudon *et al.*, 2007). Menurut

Naba (2009), secara umum *fuzzy logic* merupakan sebuah metodologi “berhitung” dengan variabel kata-kata (*linguistic variable*) sebagai pengganti perhitungan dengan bilangan. Kata-kata yang digunakan dalam *fuzzy logic* tidak sepresisi dengan bilangan, namun pemakaian kata-kata jauh lebih dekat dengan intuisi manusia dimana manusia bisa langsung “merasakan” nilai dari variabel kata-kata yang sudah dipakai sehari-hari.

### 2.5.2 Himpunan Fuzzy

Himpunan tegas (*crisp*) atau himpunan klasik muncul sebelum adanya teori logika *fuzzy*, himpunan tegas (*crisp*) memiliki nilai keanggotaan pada suatu item  $x$  dalam suatu himpunan  $A$  yang sering ditulis dengan  $\mu_A[x]$ , memiliki 2 kemungkinan yaitu (Irwansyah dan Muhammad, 2015):

1. Satu (1), yang berarti bahwa item menjadi anggota dalam suatu himpunan (logika benar).
2. Nol (0), yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan (logika salah).

Menurut Hayadi dan Kasman (2016), himpunan klasik diwujudkan dengan mendefinisikan fungsi karakteristik untuk setiap elemen anggota himpunan klasik tersebut. Misal untuk himpunan klasik  $A$ ,  $(x,0)$  atau  $(x,1)$  menunjukkan  $x$  anggota himpunan  $A$  ( $x \in A$ ) atau  $x$  bukan anggota himpunan  $A$  ( $x \notin A$ ). Menurut Suryana (2010), himpunan *fuzzy* adalah suatu kelas objek dengan kontinum nilai keanggotaan. Pada himpunan *fuzzy* nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 dan 1. Apabila  $x$  memiliki nilai keanggotaan *fuzzy*  $\mu_A[x] = 0$ , berarti  $x$  tidak menjadi anggota himpunan. Demikian pula apabila  $x$  memiliki nilai keanggotaan *fuzzy*  $\mu_A[x] = 1$ , berarti  $x$  menjadi anggota penuh himpunan  $A$ . Himpunan *fuzzy* digunakan untuk mengantisipasi adanya perubahan kecil pada suatu nilai yang mengakibatkan perbedaan kategori.

### 2.5.3 Failure Modes and Effect Analysis (FMEA)

FMEA merupakan suatu *tools* penilaian yang penting untuk mengevaluasi potensi kegagalan yang kritis ketika sebuah kegagalan terjadi. Metode FMEA mengidentifikasi dan

mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan (*failure mode*) dengan prosedur yang terstruktur. Suatu mode kegagalan adalah apa saja yang termasuk dalam kecacatan, kondisi diluar spesifikasi yang ditetapkan, atau perubahan dalam produk yang menyebabkan terganggunya fungsi dari produk (Gasperz, 2002). FMEA adalah metodologi pada pengembangan produk dan manajemen operasi untuk menganalisis mode kegagalan potensial dalam sistem yang dikelompokkan berdasarkan tingkat keparahan dan kemungkinan keagalannya. Aktivitas FMEA yang sukses membantu tim mengidentifikasi mode kegagalan potensial, berdasarkan pengalaman masa lalu dengan produk atau proses serupa. Mode kegagalan adalah kesalahan atau cacat dalam suatu proses, desain, atau item, terutama yang mempengaruhi pelanggan, dan berpotensi atau actual (Ambekar, 2013). Dalam rangka menganalisa dari *failure mode* yang terjadi, perlu dipahami beberapa terminologi yang berhubungan dengan penggunaan FMEA. Terminologi tersebut adalah (Pillay *et al.*, 2003):

1. *Component*

Komponen dari sistem atau alat yang dianalisa.

2. *Potential failure mode*

*Potential failure mode* menggambarkan cara dimana sebuah produk atau proses bisa gagal untuk melaksanakan fungsi yang diperlukan sebagai gambaran keinginan, kebutuhan dan harapan dari internal dan eksternal *customer*. Penting untuk mempertimbangkan dan mencatat setiap *potential failure mode* yang terjadi dibawah kondisi operasi tertentu dan dibawah kondisi pemakaian tertentu.

3. *Failure Effect*

Dampak atau akibat yang ditimbulkan jika komponen tersebut gagal seperti disebutkan dalam *potential failure mode*. Dampak dari *failure* merupakan konsekuensi merugikan dari pengaruh *failure* tertentu yang mempengaruhi sistem atau subsistem lainnya. Beberapa *failure* dapat berdampak pada personal atau



*environment safety* dan melanggar berbagai regulasi produk.

4. *Severity (S)*

*Severity* merupakan kuantifikasi seberapa serius kondisi yang diakibatkan jika terjadi kegagalan yang akibatnya disebutkan dalam *Failure Effect*. Menurut tingkat keseriusan, *severity* dinilai pada skala 1 sampai 10.

5. *Causes*

*Causes* adalah apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan pada komponen, subsistem atau sistem.

6. *Occurance (O)*

Tingkat kemungkinan terjadinya kegagalan. Ditunjukkan dalam 10 level (1,2,...,10) dari yang hampir tidak pernah terjadi (1) sampai yang paling mungkin terjadi atau sulit dihindari (10).

7. *Detection (D)*

Menunjukkan tingkat kemungkinan lolosnya penyebab kegagalan dari kontrol yang sudah dipasang. Levelnya juga dari 1-10, dimana angka 1 menunjukkan kemungkinan untuk lewat dari kontrol (pasti terdeteksi) sangat kecil, dan 10 menunjukkan kemungkinan untuk lolos dari kontrol (tidak terdeteksi) adalah sangat besar.

8. *Risk Priority Number (RPN)* Merupakan hasil perkalian bobot dari *severity*, *occurance* dan *detection*.

$$RPN = S \times O \times D$$

Dimana, S merupakan *Severity* (Dampak), O adalah *Occurance* (Kejadian) dan D adalah *Detection* (Deteksi).

Menurut Puente (2002), FMEA merupakan sebuah metode untuk memeriksa penyebab cacat atau kegagalan yang terjadi selama produksi, mengevaluasi prioritas risiko, dan membantu menentukan tindakan yang tepat untuk menghindari masalah yang diidentifikasi. Menurut Yeh dan Hsieh (2007), FMEA digunakan secara luas dalam peningkatan mutu dan alat penilaian risiko di industri manufaktur. Alat ini menggabungkan pengetahuan manusia dan pengalaman untuk:

- a. mengidentifikasi potensi kegagalan yang dikenal atau mode dari suatu produk atau proses,







- b. mengevaluasi kegagalan suatu produk atau proses dan efeknya,
- c. membantu perekayasa untuk melakukan tindakan perbaikan atau tindakan preventif, dan
- d. menghilangkan atau mengurangi kemungkinan terjadi kegagalan.

## 2.6 Fault Tree Analysis (FTA)

Identifikasi akar penyebab resiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan dapat diukur dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan dari kejadian puncak (*Top Event*) kemudian merinci sebab-sebab suatu *Top Event* sampai pada suatu kegagalan dasar (*root cause*). Gerbang logika menggambarkan kondisi yang memicu terjadinya kegagalan, baik kondisi tunggal maupun sekumpulan dari berbagai macam kondisi. Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan komponen-komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event* menyatakan keterhubungan dalam gerbang logika (Hanif dkk, 2015). Menurut Priyanta, (2000) model grafis FTA memuat beberapa simbol, yaitu simbol kejadian, simbol gerbang dan simbol transfer. Simbol kejadian adalah simbol yang berisi kejadian pada sistem yang dapat digambarkan dengan bentuk lingkaran, persegi, dan yang lainnya yang mempunyai arti masing-masing. Simbol-simbol yang digunakan pada *Fault Tree Analysis* (FTA), dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.



**Tabel 2. 2** Simbol-Simbol *Fault Tree Analysis* (FTA)

Simbol	Istilah	Keterangan
	<i>Top event</i>	Kejadian yang dikehendaki pada puncak yang akan diteliti lebih lanjut ke arah kejadian dasar lainnya dengan menggunakan gerbang logika untuk menentukan penyebab kegagalan.
	<i>Logic event OR</i>	Kejadian output yang akan muncul atau terjadi jika satu atau lebih kejadian input terjadi.
	<i>Logic event AND</i>	Kejadian output terjadi jika semua kejadian input terjadi secara bersamaan.
	<i>Transferred event</i>	Simbol ini menunjukkan bahwa uraian lanjutan kejadian berada di halaman lain.
	<i>Undeveloped event</i>	Kejadian dasar ( <i>basic event</i> ) yang tidak akan dikembangkan lebih lanjut karena tidak tersedianya informasi.
	<i>Basic event</i>	Kejadian yang tidak diharapkan yang dianggap sebagai penyebab dasar kegagalan sehingga tidak perlu dilakukan analisa lebih lanjut.

Sumber :Priyanta, (2000).

FTA adalah analisis deduktif dengan pendekatan *top down* untuk mengetahui penyebab dari sebuah kejadian yang disimpulkan. Ini memberikan model visual bagaimana caranya kegagalan peralatan, kesalahan manusia dan faktor eksternal berkontribusi terhadap suatu kecelakaan atau kejadian. Analisis ini menggunakan logika gerbang dan kejadian kecil untuk

menghadirkan jalan sebuah kecelakaan melalui berbagai langkah dan karenanya *fault tree* dibangun untuk kejadian tertentu. Kegagalan teknis bisa terjadi diwakili sebagai peristiwa dasar (*basic event*), sementara kesalahan manusia dapat terjadi diwakili sebagai *intermediate event* yang mungkin mengintensifkan menjadi kegagalan teknis (Baig, *et al.* 2013).

Titik awal analisa FTA adalah pengidentifikasian mode kegagalan pada *top level* suatu sistem. Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan komponen– komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. menyatakan hubungan tersebut disebut gerbang logika (Amalia, dkk, 2012). Menurut Vesely *et al.*, (1981) analisis pohon kegagalan merupakan analisis deduktif yaitu suatu kejadian disebabkan oleh kejadian sebelumnya. Kejadian sebelumnya disebabkan oleh kejadian lain lebih lanjut, kegagalan komponen atau kegagalan operator (manusia). Masing-masing kegagalan tersebut dianalisis lebih lanjut penyebabnya sehingga sampai pada kondisi kejadian dasar (*basic event*). Kejadian puncak (*Top Event*) dari pohon kegagalan menunjukkan kejadian atau kondisi yang tidak diinginkan. *Top Event* haruslah terlebih dahulu diidentifikasi, kemudian *event-event* yang secara langsung menyebabkan terjadinya *Top Event* diidentifikasi dan dihubungkan dengan *Top Event* dengan menggunakan hubungan logika. *Cut set* merupakan kombinasi kegagalan kejadian dasar, sedangkan *minimal cut set* adalah kombinasi terkecil dari kegagalan kejadian dasar.

## 2.7 Aljabar Boolean

Analisa *Fault Tree* secara kualitatif dapat dilakukan dengan menggunakan Aljabar Boolean. Tujuan dari analisa ini adalah mencari *minimal cut set*. Sebuah *cut set* didefinisikan sebagai *basic event* (kejadian dasar) yang bila terjadi akan mengakibatkan terjadinya *Top event*. Aljabar Boolean merupakan aljabar yang dapat digunakan untuk melakukan penyederhanaan atau menguraikan rangkaian logika yang rumit

dan kompleks menjadi rangkaian logika yang lebih sederhana (Widjanarka, 2006). Aljabar Boolean merupakan aljabar yang terdiri atas suatu himpunan B dengan dua operator biner yang didefinisikan pada himpunan tersebut, yaitu penambahan (+) dan perkalian (.), sehingga untuk setiap a, b, c ∈ B berlaku hukum aljabar Boolean. Berikut hukum-hukum dalam Aljabar Boolean:

**Tabel 2. 3** Hukum Aljabar Boolean

Jenis	Formula
Hukum dasar	$A \cdot A = A$
	$A + A = A$
	$A (A+B) = A$
	$A A' = 0$
Hukum Komulatif	$A + A' = 1$
	$A \cdot B = B \cdot A$
	$A + B = B + A$
Hukum Asosiatif	$A(BC) = (AB)C$
	$A+(B+C) = (A+B)+C$
Hukum Distributif	$A+(B+C) = AB + AC$
	$A + BC = (A+B)(A+C)$
	$0A = 0$
Hukum yang Melibatkan 1 dan 0	$1A = A$
	$0 + A = A$
	$1 + A = 1$
Hukum De Morgan	$(AB)' = A' + B'$
	$(A + B)' = (AB)'$

Sumber: Nugroho (2015).

Aljabar Boolean adalah aljabar yang berhubungan dengan variabel-variabel biner dan operasi-operasi *logic*. Variabel-variabel diperlihatkan dengan huruf alphabet dan tiga operasi dasar *AND*, *OR*, serta *NOT*. Fungsi Boolean terdiri dari variabel-variabel biner yang menunjukkan fungsi. Fungsi Boolean bisa sama dengan 1 atau 0 serta simbol operasi logika dan tanda kurung (Wahyuningrum dan Elisa, 2016). Pendekatan aljabar boolean berawal dari *TOP event* dan mendiskripsikannya secara logis dalam *basic event*, *incomplete*

*event* dan *intermediate event*. Semua *intermediate event* akan digantikan oleh *event-event* pada hirarki yang lebih rendah. Hal ini terus dilakukan sampai pernyataan logika yang menyatakan *TOP event* semuanya dalam bentuk *basic event* dan *incomplete event* (Sismoro, 2005).

## 2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan salah satu jenis referensi yang dapat memberikan pemahaman tentang konsep yang sesuai dengan penelitian. Menurut Wessiani dan Satria (2015) dalam penelitiannya yang berjudul *Risk Analysis Of Poultry Feed Production Using Fuzzy FMEA* menjelaskan bahwa lini produksi menjadi salah satu proses penting untuk menunjang keberhasilan perusahaan dalam memenuhi permintaan konsumen. Potensi kegagalan yang ancaman stabilitas dan kontinuitas proses produksi harus diminimalkan. Semua potensi kegagalan dapat dianggap sebagai risiko sehingga dilakukan penilaian risiko untuk mengidentifikasi risiko yang berpotensi mengancam proses produksipakan unggas. Pada penelitian ini memanfaatkan metodologi FMEA untuk menganalisis risiko dalam proses produksi pakan unggas, dimana terdapat 89 potensi risiko produksi pakan unggas dapat diidentifikasi dengan menerapkan FMEA *Fuzzy*. Upaya mitigasi diprioritaskan pada 39 risiko korektif serta analisis risiko yang akurat akan memungkinkan perusahaan untuk mengembangkan dengan baik upaya mitigasi dan mengamankan proses produksi mereka untuk memenuhi jadwal permintaan.

Menurut Suhartini dan Ziko (2013), dalam penelitiannya yang berjudul *Analisa Risiko Kegagalan Proses Produksi di PDAM dengan metode Fuzzy FMEA* menjelaskan bahwa dalam proses produksi penjernihan air di PDAM seringkali terjadi hal-hal yang dapat menimbulkan kegagalan proses produksi yang mempengaruhi hasil atau output dari proses penjernihan air. Analisa risiko kegagalan proses penjernihan dilakukan untuk mendeteksi risiko apa saja yang mungkin terjadi dalam proses tersebut dengan menggunakan metode *Fuzzy FMEA*. Hasil dari

analisa risiko didapatkan bahwa risiko kegagalan proses potensial yang ada pada tahap aerasi sampai tahap desinfeksi adalah *failure effect* “kadar DO turun”, “Air luberan mengenai fasilitas lain”, “Ketinggian air filter naik”, “Timbul tekanan”, “Mempercepat korosi pada fasilitas lain”, “Udara sulit diinjeksikan”, “Air tidak dapat didistribusikan” dan “Flok ikut terbawa ke proses filtrasi”.

Menurut Ozilgen (2012), dalam penelitiannya yang berjudul *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for confectionery manufacturing in developing countries: Turkish Delight Production as a Case Study*, menjelaskan bahwa Industri kembang gula Turki merupakan salah satu industri makanan terkemuka di negara tersebut, pengendalian risiko yang efektif dengan memilih dan menerapkan tindakan yang tepat sangat penting untuk melindungi kesehatan masyarakat dan membangun kepercayaan konsumen. Isu keselamatan yang terkait dengan beberapa sampel produk kembang gula *Turki delight* yang tersedia secara komersial kurang adanya pelacakan sistematis terhadap produksinya. Penilaian risiko manufaktur kembang gula menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Mode dan efek kegagalan potensial serta kemungkinan penyebabnya diidentifikasi dalam aliran proses. Tahap pengolahan yang melibatkan penanganan makanan secara intensif oleh pekerja yang memiliki angka prioritas risiko tertinggi (RPN = 216 dan 189), diikuti oleh risiko kontaminasi kimia dalam berbagai tahapan proses. Penerapan tindakan korektif secara substansial mengurangi nilai RPN (nomor prioritas risiko). Oleh karena itu, penerapan model FMEA (*Failure Mode and Effect Analyse*) dalam pembuatan kembang gula meningkatkan keamanan dan kualitas produk akhir.

Menurut Puspitasari dan Arif (2014), dalam penelitiannya yang berjudul *Penggunaan FMEA dalam Mengidentifikasi Resiko Kegagalan Proses Produksi Sarung ATM (Alat Tenun Mesin)* (STUDI KASUS PT. ASAPUTEX JAYA TEGAL) menjelaskan bahwa cacat produk yang terjadi pada perusahaan masih ada yang diluar dari ketentuan batas perusahaan yaitu diatas angka persentase yang telah ditetapkan oleh perusahaan

yaitu sebesar 2%. Sehingga perusahaan segera melakukan perbaikan agar tidak terjadi *waste* yang merugikan perusahaan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa moda kegagalan yang menyebabkan cacat produk dengan menggunakan metode FMEA, mendapatkan resiko kegagalan proses produksi terbesar dalam nilai RPN (*Risk Priority Number*), memberikan usulan perbaikan untuk produksi selanjutnya. Pada PT. Asaputex Jaya terdiri dari 14 jenis kegagalan. Untuk resiko kegagalan terbesar pada RPN FMEA adalah yang memiliki nilai RPN diatas 100 yaitu *connecting* patah, *shuttle* rusak, motor penggerak pemintal palet rusak dan kampas rem rusak. Usulan perbaikan yang diberikan untuk perusahaan secara keseluruhan adalah perusahaan agar lebih memerhatikan perawatan mesin agar mesin terhindar dari kegagalan fungsinya. Untuk mesin *pirn winder* diperlukan peralatan bantuan untuk proses perawatan yaitu dengan menggunakan *air gun*. Sedangkan peralatan lain bantuan yang lain adalah dengan menggunakan stavolt yaitu pada mesin *drying*, mesin *winding* dan mesin *centrifugal*.

Menurut Mohamed and Sameh (2016), dalam penelitiannya yang berjudul *Development Of Risk Assessment Model For Equipment Within The Petroleum Industry* menjelaskan bahwa pada departemen pemeliharaan dalam industri minyak berusaha meningkatkan keamanan peralatan dengan cara mengurangi terjadinya kegagalan dan konsekuensi yang tidak diinginkan. Dalam penelitian ini, model penilaian risiko yang diusulkan meliputi kemungkinan risiko dan konsekuensi dari kegagalan. Penilaian risiko dilakukan dengan penilaian kuantitatif dan kualitatif, dimana penilaian kuantitatif diperoleh dari model matematika *likelihood of Risk* (LOR) dan penilaian kualitatif diperoleh dari analisis kegagalan probabilistik yang digunakan untuk menyusun *Fault tree analysis* (FTA). Setelah dilakukan penilaian kuantitatif dan kualitatif, penilaian kemungkinan risiko dilakukan dari segi performansi, *human*, finansial dan lingkungan yang selanjutnya dilakukan penilaian konsekuensi. Persamaan dari kerugian finansial dikembangkan untuk melibatkan keseimbangan antara biaya tindakan korektif dan preventif. Analisis biaya utama terkait membantu dalam

mengingatkan tim pemeliharaan untuk memiliki estimasi biaya yang terlibat dan kemungkinan menghindari risiko. Kontribusi pekerjaan ini untuk penilaian dan estimasi probabilitas risiko dan konsekuensinya dalam industri minyak dan gas dapat meningkatkan tindakan terhadap kemungkinan risiko serta memberikan pemahaman yang lebih baik dari dampak risiko pada bidang utama dalam industri ini. Secara keseluruhan, ini terutama akan meningkatkan efisiensi pemeliharaan dengan mengevaluasi risiko yang penting untuk sifat dari industri perminyakan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, A., R. 2016. **Analisis Risiko Proses Produksi pada Yoghurt Menggunakan Metode Fuzzy Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA)**. Skripsi Tenologi Industri Pertanian. Universitas Brawijaya-Malang.
- Amalia, R., Mohammad, A., R., dan Cahyono, B., N. 2012. **Analisa Penyebab Keterlambatan Proyek Pembangunan Sidoarjo Town Square Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA)**. Jurnal Tenik 1(1): 21-22.
- Ambekar, S., B., Ajinkya, E. and Vivek, S. 2013. **Implementation of Failure Mode and Effect Analysis**. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT). 2 (8): 38.
- Amperajaya, D dan Daryanto. 2007. **Identifikasi Penyebab Cacat Pulley Pada Proses Pengecoran di PT Himalaya Nabeya Indonesia dengan metode FMEA & RCA**. Jurnal Inovisi, 6(1): 6-7.
- Baig, A., A., Risza, R., and Azizul, B., B. 2013. **Reliability Analysis Using Fault Tree Analysis**. International Journal of Chemical Engineering and Applications. 4 (3): 169.
- Baig, A., A., Risza, R. 2014. **Estimation of Failure Probability Using Fault Tree Analysis and Fuzzy Logic for CO2 Transmission**. International Journal of Environmental Science and Development. 5 (1): 26.
- Bariyus. 2017. **Pencoklatan pada tebu dan cara mengatasinya**. Available at [http:// pencoklatan pada tebu dan cara mengatasinya /html](http://pencoklatan.pada.tebu.dan.cara.mengatasinya/html).
- K. A **Theory of Sugar Drying**. British Society of Sugar Technologist Meeting.
- Christian, F., A dan Lena, F. 2016. **Pengaruh Disiplin Kerja Terhadap Produktivitas Kerja Karyawan Bagian**



- Produksi Pabrik Kelapa Sawit (Pks) Pt. Perkebunan Nusantara V Sei Rokan Kec. Pagaran Tapah Darussalam Kab. Rokan Hulu.** Jurnal JOM FISIP Vol. 3 (1): 3.
- Chrysler. 1995. ***Potential Failure Mode And Effects Analysis (FMEA)***. Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. New York.
- Darmawi, H. 2006. **Manajemen Risiko: Cetakan ke-sepuluh.** Bumi Aksara. Jakarta.
- Darwin, P. 2013. **Menikmati Gula Tanpa Rasa Takut.** Sinar Ilmu. Yogyakarta.
- Desmi, A. 2014. **Analisis Penggunaan Gula Pasir Sebagai Retarder Pada Beton.** Teras Jurnal, 4(2): 1.
- Dewi, A., S., R., Sri, W., Sudiarso, dan Husni, T., S. 2017. **Pengaruh Lama Penyimpanan Dan Perlakuan Pemacu Perkecambahan Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Bibit Tebu (Saccharum Officinarum L.) G2 Asal Kultur Jaringan.** Jurnal budidaya 3(1): 3.
- Ernawati, L., dan Erma, S. 2013. **Analisis Faktor Produktivitas Gula Nasional Dan Pengaruhnya Terhadap Harga Gula Domestik dan Permintaan Gula Impor dengan Menggunakan Sistem Dinamik.** Jurnal Teknik Pomits 1(1):1.
- Fahrul, D. 2010. **Perusahaan dan Lingkungan Perusahaan.** <https://p4hrul.wordpress.com/2010/10/16/perusahaan-dan-lingkungan-perusahaan/>.
- Firmansyah, M., H dan Wayan, B. 2013. **Analisa Kegagalan Top Hinge Guide Arm Pada Pintu Depan Pesawat Terbang BOEING 737-300.** Jurnal Teknik Pomits, 2(1): 2.
- Gaspersz, V. 2002. **Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi dengan ISO 9001:2000, MBNQA, dan HACCP.** PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta .
- Hanif, R., Y., Hendang, S., R., dan Susy, S. 2015. **Perbaikan Kualitas Produk Keraton Luxury di PT. X dengan Menggunakan Metode Failure Mode And Effect**

- Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA).***  
Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, 3(3): 139.
- Hayadi, H., dan Kasman, R. 2016. ***What Is Expert System.*** Deepublish. Yogyakarta.
- Husein, U. 2001. ***Manajemen Risiko Bisnis: Pendekatan Finansial dan Nonfinansial.*** PT. Gramedia Pustaka. Jakarta.
- Irwansyah, E., dan Muhammad, F. 2015. ***Advanced Clustering: Teori dan Aplikasi.*** Erlangga. Jakarta.
- ISO/IEC 31010. 2009. ***Risk Assessment Techniques. International Organization for Standardization ISO.***Solaris.
- Jayawardana. 2014. ***Analysis of noise level from different sawmills and its evironmental effects in yenagoa metropolis.*** Jurnal Wilberforce Island. 2 (6):111.
- Juran, J. 1995. ***Quality Control Handbook Third edition.*** Mc Graw. New York.
- Kristyanto, R., Sugiono dan Rahmi, Y. 2016.***Analisis Risiko Operasional Pada Proses Produksi Gula dengan Menggunakan Metode Multi-Attribute Failure Mode Analysis (MAFMA) (STUDI KASUS: PG. KEBON AGUNG MALANG).*** Jurnal rekayasa dan Manajemen Sistem Industri, 3(3): 594.
- Kurniawan, Y., Bachtiar, A., dan Triantarti. 2009. ***Potret Kualitas Gula Kristal Putih dan Upaya Peningkatan Menuju SNI GKP.dalam Mengantisipasi SNI Gula Kristal Putih : Masalah dan Solusi Peningkatan Kualitas Gula.*** Prosiding Seminar. Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia. hal. 5.
- Kusumadewi, S. 2002. ***Analisis Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box.Matlab.*** Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Landdheer A. 1977. ***Pesawat Industri Gula.*** LPP.Yogyakarta.
- Laudon, K. C., dan Jane, L. 2007. ***Management Information System.*** Pearson Education. New Jersey.

- Lokobal, A. 2014. **Manajemen Risiko Pada Perusahaan Jasa Pelaksana Konstruksi di Propinsi Papua**. Jurnal Ilmiah Engineering, 4(2): 110-111.
- Mangkuprawira, S. 2011. **Manajemen Sumber Daya Manusia Strategik**. Ghalia Indonesia. Bogor.
- Muzakkir, S., M. K. P. Lijesh and Harish, H. 2015. **Failure Mode and Effect Analysis of Journal Bearing**. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562. 10 (16): 36843.
- Marta, 2011. **Analisis Efisiensi Industri Gula di Indonesia dengan Metode Data Envelopment Analysis (DEA) Tahun 2001 – 2010**. Jurnal Media Ekonomi, 19(1): 72.
- Mastura, S. 2011. **Manajemen Risiko Dalam Proyek Konstruksi**. Jurnal SMARTek, 9(1):111-112.
- Muhammed, A., M and Sameh, M., S. 2010. **Development Of Risk Assessment Model For Equipment Within the Petroleum Industry**. IFAC-PapersOnLine 49-28: 037–042.
- Mulqiah, K. 2013. **Proses Pembuatan Gula**. Erlangga. Jakarta.
- Naba, A. 2009. **Tutorial Cepat dan Mudah Fuzzy Logic dengan MATLAB**. Erlangga. Jakarta.
- Nugraheni, M. 2010. **Standar Nasional Indonesia Gula Putih**. BSNi. Yogyakarta.
- Nugroho, H. 2015. **Matematika Diskrit dan Implementasinya dalam Dunia Teknologi Informasi**. CV Budi Utama. Yogyakarta.
- Ozigen, S. 2012. **Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) For Confectionery Manufacturing In Developing Countries: Turkish Delight Production as a Case Study**. Journal Of Food Engineering, 32(3): 505-514.
- Pandey, M. 2005. **Engineering and Sustainable Development: Fault Tress Analysis**. University of Waterloo. Waterloo.
- Papadopoulos. 2004. **Fault And Event Tree Analysis**. Journal of Uncertainty handling formulation analysis. 31 (1): 86-107.

- Patil, R., B., Waghmode, Chikali<sup>3</sup>, and Mulla. 2010. ***An Overview of Fault Tree Analysis (FTA) Method for Reliability Analysis & Life Cycle Cost (LCC) Management.*** IOSR Journal of Mechanical & Civil Engineering (IOSR-JMCE) ISSN: 2278-1684, PP: 14-18.
- Pillay, A., Wang, J. 2003. ***Modified Failure Mode and Effects Analysis Using Approximate Reasoning, Reliability Engineering & System Safety*** 139(3): 379-394.
- Prasetyo, P., Wahono, H., D, Sudarma, W. D. 2016. **Pengaruh Kondisi Penyimpanan Tebu Pragiling dan Pemberian Konsentrasi Antiinversi Terhadap Kualitas Nira dan Rendemen Sementara.** Jurnal Pangan dan Agroindustri. 4 (1):137-147.
- Priyanta, D. 2000. **Keandalan dan Perawatan.** Institut Teknologi Surabaya. Surabaya.
- Puente, J. 2002. ***Artificial Intelligence Tools for Applying Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).*** Universidad de Oviedo. Spain.
- Puspitasari, N., B dan Arif, M. 2014. **Penggunaan FMEA dalam Mengidentifikasi Resiko Kegagalan Proses Produksi Sarung ATM (Alat Tenun Mesin) (Studi Kasus PT. Asaputex Jaya Tegal).** Jurnal Undip 9(2): 96.
- Rengganis, E. 2014. **Analisa Biaya Rework Sebagai Dasar Perbaikan Kualitas Proses Produksi (Studi Kasus Pada CV. GIG).** Jurnal Teknik Industri. 1(1): 2.
- Rosalina, F., Yuniar, F., Abdulloh, H. 2016. **Metode Logika Fuzzy Sebagai Evaluasi Distribusi Daya Listrik Berdasarkan Beban Puncak Pembangkit Tenaga Listrik.** Jurnal Matematika, 2(1): 23.
- Rosa, S., E., dan Suharmiati. 2008. **Peranan Sistem Pengendalian Bahan Baku Dalam Menunjang Efektivitas Proses Produksi (Studi Kasus pada PT.Super Glossindo Indah).** Jurnal Ilmiah Kesatuan, 20(1): 41-45.
- Ratmanto, S. 2008. **Proses Produksi Gula.** <http://favetech.blogspot.co.id/>.

- Riyadina, W. 2007. **Kecelakaan Kerja Dan Cedera Yang Dialami Oleh Pekerja Industri di Kawasan Industri Pulo Gadung Jakarta.** Jurnal Makara, Kesehatan. 11(1): 26.
- Rofi. A., N. 2012. **Pengaruh Disiplin Kerja Dan Pengalaman Kerja Terhadap Prestasi Kerja Karyawan Pada Departemen Produksi Pt. Leo Agung Raya Semarang.** Jurnal Ilmu Manajemen dan Akuntansi Terapan. 3 (1):12.
- Santoso, B. 2011. **Proses Pembuatan Gula Dari Tebu pada PG X.** Universitas Gunadarma. Depok.
- Siahaan, H. 2009. **Manajemen Risiko pada Perusahaan dan Birokrasi.** PT Elex Media Komputindo. Jakarta.
- Sismoro, H. 2005. **Pengantar Logika Informatika: Algoritma Dan Pemrograman Komputer.** Andi Offset. Yogyakarta.
- Subiyanto, E. 2016. **Analisis Keragaman Parameter Penentu Rendemen Gula Kristal Putih pada Pabrik Gula BUMN.** P-ISSN 1410-3680 / E-ISSN 2541-1233. 11 (1):
- Sugiyanto. 2007. **Permintaan Gula di Indonesia.** Jurnal Ekonomi Pembangunan, 8 (2): 113 – 127.
- Sugiyanto, C. 2015. **Statistik Perkebunan Indonesia.** Direktorat Jendral Perkebunan. Jakarta.
- Suhartini dan Ziko. 2013. **Analisa Resiko Kegagalan Proses Produksi Di PDAM Dengan Metode Fuzzy FMEA.** Jurnal Teknik Industri. ISBN : 978-979-3514-66-6.
- Suryana, I. 2010. **Penerapan Fuzzy FMEA, MAFMA dan FuzzyAHP pada Perbaikan Proses Produksi Ban Radial di PT Bridgestone Tire Indonesia.** Modul Universitas Trisaksti. Jakarta.
- Suswinarno. 2012. **Aman dari Risiko dalam Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah.** Visimedia. Jakarta.
- Swarna, M., A., Venkatakrishnaiah, R. 2014. **Fault Tree Analysis in Construction Industry for Risk Management.** International Journal of Advanced Research in Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering and Developing. 2 (1): 16.

- Syawalluddin, W. 2010. **Pendekatan *Lean Thinking* dengan Menggunakan Menggunakan Metode *Root Cause Analysis* untuk Mengurangi *Non Value Added Activities***. *Jurnal PASTI*, 8(2): 239.
- Tempo. 2007. **Stabilisasi Harga Kebutuhan Pokok Menjelang Lebaran**. Tempo Media Group. Jakarta.
- Tjokrodirjo, HS. 1985. **Teknis Bercocok Tanam Tebu**. Lembaga Pendidikan Perkebunan. Yogyakarta.
- Vesely, W., Goldberg, F., Roberts, N. & Haasl, D., 1981. ***Fault Tree Handbook***. Nuclear Regulatory Commission. Washington DC.
- Vesely, W. E., T. C. Davis, R. S. Denning, and N. Saltos. 1983. ***Measures of Risk Importance and Their Applications***. King Avenue. Ohio.
- Wahyuningrum, T., dan Elisa, U. 2016. **Matematika Diskrit: dan Penerapannya dalam DuniaInformasi**. Deepublish. Sleman.
- Wang, Y. M., Chin, K. S., Poon, G. K. K., Yang, J. B. 2009. ***Risk Evaluation in Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy Weighted Geometric Mean***. *Journal Expert Systems with Application* 36:1195-1207.
- Warn, T. 2009. ***Structural Filure Models for Fault-Tolerant Distributed Computing***. Springer. Heidelberg.
- Wati, C. L. (2009). **Usulan Perbaikan Efektivitas Mesin Dengan Menggunakan Metode *Overall Equipment Effectiveness* Sebagai Dasar Penerapan *Total Productive Maintenance* Di PT. WIKA**. *Jurnal Teknik Mesin*. 15 (1): 63.
- Waters, D. 2011. ***Supply Chain Risk Management: Vulnerability and Resilience in Logistics***. Kogan Page. London.
- Wessiani, N., A. and Satria, O., S. 2015. ***Risk Analysis Of Poultry Feed Production Using Fuzzy FMEA***. *Procedia Manufacturing*, 4 pp. 270-281.
- Widjanarka, W. 2006. **Teknik Digital**. Erlangga. Jakarta.
- Winarno, FG. 1993. **Pangan, Gizi, Teknologi, dan Konsumen**. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

- Yasa , W., Sila, D., dan Ketut, S. 2013. **Manajemen Risiko Operasional dan Pemeliharaan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Regional Bangli di Kabupaten Bangli.** Jurnal Spektran, 1(2): 32-33.
- Yeh, R., H., dan Hsieh, M., H. 2007. ***Fuzzy Assesment of FMEA for Sewage Plant.*** Journal of the Cinese Institute of Industrial Engineers 24(1) 505-512.
- Yusuf, B., Arif, R., dan Rakhmat, H. 2012. ***Analisa Overall Equipment Effectiveness Untuk Memperbaiki Sistem Perawatan Mesin Dop Berbasis Total Productive Maintenance (Studi Kasus: PT XYZ – Malang).*** Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri, 3(1): 105.